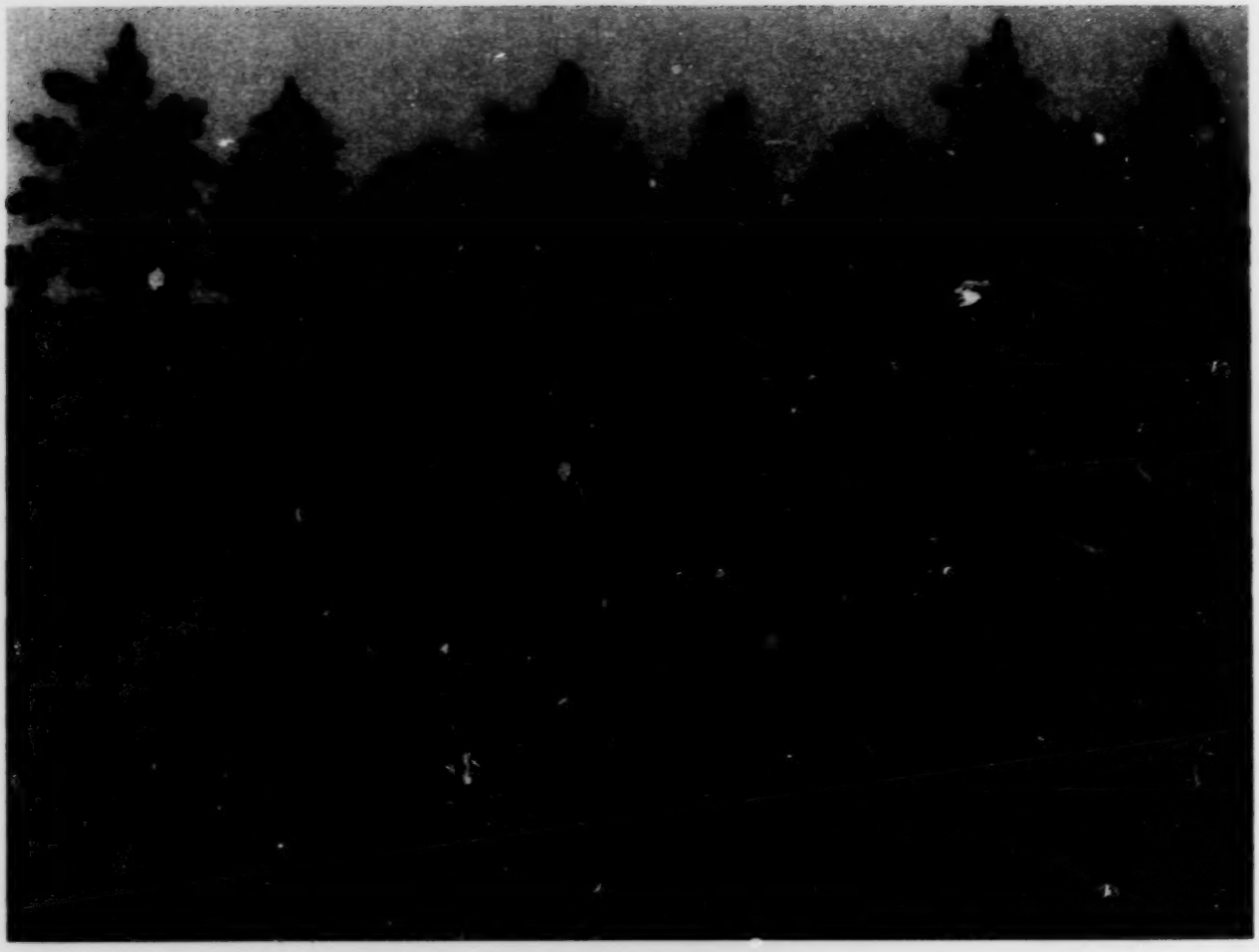
Forêts Canada Forestry Canada

Programme relatif à la pollution atmosphérique du Service canadien des forêts et bibliographie pertinente

P.A. Addison et P.J. Rennie

Rapport d'information DPC-X-26F
Service canadien des forêts, Direction générale des sciences forestières



91-05419/

Forêts Canada

Forêts Canada est l'organisme principal en matière de foresterie à l'intérieur du gouvernement fédéral. Chef de file sur le plan national, il assure la préparation, la coordination et la mise en œuvre des politiques et des programmes fédéraux dans le but d'améliorer les avantages économiques, sociaux et environnementaux à long terme offerts aux Canadiens par le secteur forestier.

Forêts Canada est une organisation décentralisée: six régions, deux instituts de recherche nationaux ainsi que sept sous-bureaux régionaux sont répartis dans tout le Canada. L'administration centrale est établie dans la région de la Capitale nationale, à Hull (Québec).

Pour remplir son mandat, Forêts Canada assume les tâches suivantes:

- il administre les accords de développement forestier conclus avec les provinces
- il entreprend et appuie la recherche, la mise au point et le transfert technologique dans le domaine de la gestion et de l'utilisation des forêts
- il rassemble, analyse et diffuse de l'information sur les ressources forestières nationales et internationales et les domaines connexes
- il fait des relevés des maladies et des insectes ravageurs des forêts canadiennes
- il fournit de l'information, des analyses et des conseils (quant aux politiques) concernant l'économie, l'industrie, les marchés et le commerce reliés au secteur forestier
- il favorise les occasions d'emploi et de formation universitaire et technique dans le secteur forestier
- il encourage les Canadiens à prendre conscience de tous les aspects du secteur forestier.

Forêts Canada entretient des rapports sur une base régulière avec les gouvernements provinciaux et territoriaux, l'industrie, le monde du travail, les universités, les environnementalistes et le public par l'entremise d'organismes comme le Conseil canadien des ministres des Forêts, le Conseil consultatif du secteur forestier, le Conseil consultatif de la recherche forestière du Canada, le Comité de l'Inventaire des forêts du Canada, le Comité canadien de la gestion des incendies de forêt, le Centre interservices des feux de forêt du Canada et des comités consultatifs régionaux. Forêts Canada joue également un rôle actif dans des organismes internationaux de foresterie comme l'Union internationale des instituts de recherches forestières et l'Organisation pour l'alimentation et l'agriculture, de même qu'au sein de délégations de nature technique ou commerciale.

L'appellation *Service canadien des forêts*, utilisée dans ce document, est l'ancien nom de Forêts Canada.

Forestry Canada

Forestry Canada is the main focus for forestry matters in the federal government. It provides national leadership through the development, coordination, and implementation of federal policies and programs to enhance long-term economic, social, and environmental benefits from the forest sector for Canadians .

Forestry Canada is a decentralized organization with six regions, two national research institutes, and seven regional sub-offices located across Canada. Headquarters is located in the National Capital Region, in Hull, Quebec.

In support of its mandate, Forestry Canada carries out the following activities:

- administers forest development agreements negotiated with the provinces
- undertakes and supports research, development, and technology transfer in forest management and utilization
- compiles, analyzes, and disseminates information about national and international forest resources and related matters
- monitors disease and insect pests in Canada's forests
- provides information, analyses, and policy advice on economics, industry, markets, and trade related to the forest sector
- promotes employment, education, and training opportunities in the forest sector
- promotes public awareness of all aspects of the forest sector.

Forestry Canada interacts regularly with provincial and territorial governments, industry, labor, universities, conservationists, and the public through such bodies as the Canadian Council of Forest Ministers, the Forest Sector Advisory Council, the Forestry Research Advisory Council of Canada, the Canadian Forest Inventory Committee, the Canadian Committee on Forest Fire Management, the Canadian Interagency Forest Fire Centre, and regional consultative committees. Forestry Canada is also active in international forestry agencies such as the International Union of Forestry Research Organizations and the Food and Agriculture Organization, as well as in technical and trade missions.

Canadian Forestry Service, used in this document, is the former name of Forestry Canada.

Programme relatif à la pollution atmosphérique du Service canadien des forêts et bibliographie pertinente

P.A. Addison et P.J. Rennie

Coordonnateurs scientifiques, Environnement forestier
Service canadien des forêts, Direction générale des sciences forestières
Ottawa (Ontario)

Rapport d'information DPC-X-26F
Service canadien des forêts
Gouvernement du Canada
1990

Données de catalogage avant publication (Canada)

Addison, P.A. (Paul Andrew), 1947 –

Programme relatif à la pollution atmosphérique du Service canadien des forêts et bibliographie pertinente

Publié aussi en anglais sous le titre *The Canadian Forestry Service Air Pollution Program and Bibliography*.
(Rapport d'information, ISSN 0705-324x; DPC-X-26F)
ISBN 0-662-96463-2
Numéro de catalogue MAS Fo46-13/26-1990F

1. Forêts — Gestion — Canada. 2. Forêts — Conservation — Canada. 3. Air — Pollution — Recherche — Bibliographie. 4. Pluies acides — Recherche — Bibliographie. I. Rennie, P.J., 1918 – . II. Service canadien des forêts. III. Titre. IV. Coll.: Rapport d'information (Service canadien des forêts): DPC-X-26F.

SD145.A3314 1990 634.9'6'19 C91-098523-5

©Ministre des Approvisionnements et Services Canada 1990

Il est possible d'obtenir sans frais des exemplaires de cette publication auprès de:

Forêts Canada
Affaires publiques et corporatives
Ottawa (Ontario)
K1A 1G5

Des copies ou microfiches de cette publication sont en vente chez:

Micromedia Ltée
165, rue Hôtel-de-Ville
Hull (Québec)
J8X 3X2

This publication is also available in English under the title *The Canadian Forestry Service Air Pollution Program and Bibliography*

Imprimé sur du papier recyclé

RÉSUMÉ

Cette publication présente un aperçu du Programme relatif à la pollution atmosphérique du Service canadien des forêts (SCF) en plus d'expliquer la structure et la disposition de la bibliographie annotée des publications qui en découlent. La bibliographie comprend des résumés de publications parues de 1972 à 1988.

ABSTRACT

This publication outlines the nature of the Canadian Forestry Service (CFS) Air Pollution Program and explains the structure and arrangement of the Annotated Bibliography of publications generated from it. The bibliography comprises abstracts of publications produced between 1972 and 1988.

Le programme

Le Service canadien des forêts (SCF) possède plus de 50 années d'expérience dans les domaines de la détection et de la surveillance des effets de la pollution atmosphérique aux alentours des sources ponctuelles de forte pollution. À la fin des années 70, le SCF avait étendu et réorienté son programme afin d'étudier la pollution atmosphérique à l'échelle régionale (problème des «pluies acides»). À cette époque, ce sont les retombées acides humides, particulièrement les dépôts de sulfates, plutôt que les fortes concentrations atmosphériques de polluants qui apparaissaient comme le risque principal. Étant donné que les forêts ne montraient pas d'atteinte étendue causée par la pollution atmosphérique régionale, les responsables du Programme relatif à la pollution atmosphérique du SCF ont axé les efforts sur les effets cachés et potentiels de celle-ci, surtout par le truchement de la mesure et de la surveillance des bilans hydriques et nutritionnels dans trois bassins hydrographiques boisés de l'Est canadien, où l'on avait installé toute une gamme d'instruments de mesure.

Toutefois, au début des années 80, on observa le dépérissement de certaines forêts d'érables et de bouleaux dans l'est du Canada et on constata que, pour des raisons inconnues, l'accroissement des résineux était plus lent que celui prévu dans d'autres zones de cette région; en conséquence, le SCF modifia de nouveau son Programme relatif à la pollution atmosphérique afin d'analyser de façon plus approfondie ces phénomènes de dépérissement et de ralentissement de l'accroissement des arbres.

En gros, le Programme relatif à la pollution atmosphérique vise à fournir aux autorités publiques les connaissances scientifiques nécessaires à l'élaboration de techniques efficaces de lutte contre la pollution atmosphérique. Pour atteindre cet objectif, le SCF réalise lui-même toute une gamme d'études et impartit certaines études spéciales à des universités et à d'autres organismes professionnels; en outre, sur un plan plus général, il veille à la coordination des recherches menées en collaboration avec d'autres organismes. Voici les trois principaux objectifs du programme; il lui faut :

1. déterminer si la pollution atmosphérique contribue au dépérissement actuel des forêts d'érables et de bouleaux et mettre au point des méthodes de prévention ou d'arrêt du dépérissement des peuplements d'érables à sucre;

2. déterminer quelles sont les concentrations maximales admissibles de polluants atmosphériques respectant la productivité permanente et la santé des massifs forestiers (ces données sont indispensables pour l'élaboration des stratégies de lutte anti-pollution);

3. surveiller constamment l'état d'écosystèmes forestiers représentatifs d'un bout à l'autre du Canada (cette surveillance constitue un moyen d'alerte précoce et permet de vérifier l'efficacité des mesures de lutte déjà prises).

A. Recherches en matière de dépérissement

Ces recherches comportent quatre volets principaux : le dépérissement des érables au Québec; celui des bouleaux au Nouveau-Brunswick; la détérioration des érablières dans trois provinces de l'Est (Ontario, Québec et Nouveau-Brunswick) et le ralentissement de l'accroissement des résineux dans l'ensemble des provinces de l'Est.

Le premier volet porte donc sur le grave dépérissement des peuplements d'érables à sucre observé dans tout le Québec méridional depuis 1982 (voir le renvoi n° 31). Depuis 1985, les études à cet égard, qui sont maintenant faites en collaboration par des spécialistes en matière de sylviculture, de pollution atmosphérique, de pathologie et de nutriments minéraux des arbres. ont pris beaucoup d'envergure. Des scientifiques de quatre universités et de deux ministères provinciaux collaborent avec ceux du Centre de foresterie des Laurentides du SCF, situé à Québec.

La deuxième action de recherche porte sur le brunissement et la chute prématurés des feuilles des bouleaux dans la région adjacente au rivage néo-brunswickois de la baie de Fundy (et parfois au rivage néo-écossais) (voir le renvoi n° 54). Ce phénomène a d'abord été observé en 1979, et son envergure a varié d'une année à l'autre. Ce brunissement et cette chute prématurés des feuilles de bouleau ne semblent pas être causés par les stress climatiques habituels, et les scientifiques oeuvrant au SCF-Maritimes, situé à Fredericton, collaborent avec ceux d'autres organismes afin d'en déterminer l'origine.

Le troisième volet du programme de recherche porte également sur la détérioration des érablières, mais dans une région beaucoup plus vaste : les chercheurs étudient la santé de l'érable dans trois provinces du Canada et dans sept États du nord-est des États-Unis. Ils y ont désigné quelque 160 placettes afin d'y surveiller les répercussions des dépôts acides en faible et forte quantités, de l'entaillage ou non des peuplements, et de trois degrés de dépérissement. On procède à la mesure fréquente des caractéristiques de divers peuplements et des conditions stationnelles depuis 1988 et jusqu'en 1990, afin de mettre en évidence les causes de la détérioration. Le Service des forêts du Department of Agriculture des États-Unis et le SCF, de même que des organismes des États et des provinces, collaborent aux études en vertu d'un protocole d'entente officiel (voir le renvoi n° 147).

Dans le cadre du quatrième volet de recherche, qui est également à l'échelle semi-continentale, les chercheurs évaluent les tendances de l'accroissement annuel d'importantes espèces de conifères. Une première étude (voir les renvois nos 49 à 51) a révélé que, depuis 1960, l'accroissement annuel des épinettes blanches et rouges a été inférieur aux prévisions. Ce phénomène ne semble pas dû aux facteurs phytosanitaires ou climatiques, et il est comparable à un ralentissement très marqué de l'accroissement des arbres qui s'est produit entre 1900 et 1920. Les spécialistes de l'Institut forestier national de Petawawa examinent actuellement d'autres longues séries dendrochronologiques pour déterminer si la largeur des cernes permet de mettre en évidence des épisodes de pollution ou de variations climatiques (voir le renvoi n° 75).

B. Recherches sur les processus

Les précédents programmes de recherches sur les processus réalisés par le SCF portaient sur les fortes concentrations de dioxyde de soufre mesurées dans l'atmosphère, principalement en Ontario et en Alberta, et sur celles de composés fluorés à Terre-Neuve. Ces études ont permis de mieux comprendre les relations dose-effets, à partir desquelles on peut élaborer des normes de qualité de l'air.

La pollution atmosphérique régionale, dont la composition n'est pas bien connue mais qui peut également entraîner des effets synergiques et cumulatifs, constitue un problème beaucoup plus difficile à résoudre. Elle peut affecter directement les tissus des arbres et leurs processus physiologiques de croissance, et réduire indirectement la

fertilité du sol et la résistance des arbres aux insectes ou aux maladies, et aux stress naturels causés par la sécheresse et le froid intense.

Les ouvrages décrits dans la bibliographie commentée illustrent les nombreuses facettes de ces interactions complexes. Le renvoi nº 63 fournit un exemple des conclusions des études réalisées en matière de bilan hydrique et d'équilibre en éléments fertilisants. Le renvoi nº 168 traite des résultats des essais de pluies acides sur la croissance des semis d'arbres, le renvoi nº 37, de leurs répercussions sur les processus de reproduction végétale et le renvoi nº 170, de leurs incidences sur l'intégrité de la cuticule. L'influence de l'acidité et du bilan nutritionnel du milieu de croissance sur le développement des mycorhizes associés aux racines des arbres fait l'objet du renvoi nº 34 et leurs effets sur la mortalité des radicelles, celui du renvoi nº 86.

Quant aux sols, le renvoi nº 216 décrit comment une plus forte acidification entraîne la lixiviation des nutriments contenus, le renvoi nº 23 traite de la solubilisation de l'aluminium du sol et le renvoi nº 24 porte sur la toxicité relative des diverses formes ioniques de l'aluminium du sol. Les renvois nºs 113 et 145 abordent respectivement les transformations de l'azote et du soufre dans le sol.

Le renvoi nº 249 donne les résultats d'une nouvelle étude des effets de l'acidification du sol et de la solubilisation de l'aluminium sur la résistance des radicelles des sapins baumiers aux infections dues à l'*Armillaria*.

À l'heure actuelle, dans le cadre du Programme relatif à la pollution atmosphérique, les spécialistes du SCF continuent l'analyse des effets des pluies acides simulées et des polluants gazeux, tel l'ozone, sur de nombreux facteurs et processus essentiels des écosystèmes forestiers. Toutes les études visent à recueillir des données sur les relations dose-effets, qui permettent d'établir les caractéristiques souhaitables de la qualité de l'air. On peut les exprimer sous forme de concentrations maximales admissibles en polluants atmosphériques ou en taux maximaux de retombées au sol.

Les conséquences de l'évolution du climat, de l'accumulation du dioxyde de carbone dans l'atmosphère et du développement de l'énergie nucléaire sont d'autres sujets qui ont retenu l'attention (voir les renvois nºs 20, 88, 75, 176 et 178).

C. Surveillance des forêts (DNARPA)

Étant donné que la pollution atmosphérique régionale et certains facteurs naturels peuvent, à eux seuls, ou par leurs synergie, perturber l'état et l'exploitation des forêts de diverses façons, on a mis en place, en 1984, un nouveau réseau de surveillance, le Dispositif national d'alerte rapide pour les pluies acides (DNARPA) (voir le renvoi nº 7). Voici ses objectifs particuliers; il lui faut :

1. évaluer quels sont les dommages subis par les forêts canadiennes et ne pouvant être attribués à des causes naturelles ou à des méthodes de gestion;

2. surveiller, à long terme, les caractéristiques de la végétation et des sols afin de déceler les changements causés par les polluants atmosphériques, et de les distinguer des stress naturels et de l'accroissement normal dans des écosystèmes forestiers représentatifs.

Le réseau comprend, au total, 106 placettes réparties d'un bout à l'autre du Canada; on en a toutefois désigné un plus grand nombre dans l'est du pays, afin de mieux tenir compte des tendances de la pollution.

D. Surveillance des bassins-versants

À la fin des années 1970, quand le SCF a entrepris ses premières études multidisciplinaires dans des bassins-versants équipés d'instruments de mesure, ses dirigeants ont estimé qu'il était en premier lieu indispensable de déterminer les caractéristiques des cycles hydriques et de l'équilibre en éléments fertilisants des placettes forestières désignées, afin de mieux comprendre et de déceler les effets peu apparents des retombées acides. Les objectifs des études réalisées dans ces bassins-versants visaient les objectifs suivants; il leur fallait :

1. fournir des données de base sur l'évolution des polluants et d'autres facteurs dans un écosystème forestier;

2. repenser, sur une longue durée, les intrants et les extrants en matière de pollution et d'autres facteurs dans trois placettes de l'Est canadien;

3. désigner des placettes d'expérimentation forestière aux paramètres bien établis, où plusieurs organismes pourraient collaborer à des études.

Bibliographie commentée

La bibliographie commentée cite les 252 publications les plus importantes publiées sur le sujet qui nous préoccupe de 1972 jusqu'à la fin de 1987, ainsi que quelques documents dont la publication a été approuvée en 1988. Ces publications découlent des recherches qui ont été effectuées par les scientifiques du SCF, ainsi que des études réalisées par les universités et par d'autres organismes avec l'aide financière du SCF. La présente compilation englobe ainsi les principales conclusions d'une phase importante du Programme d'étude de la pollution atmosphérique du SCF, et le lecteur pourra s'en servir comme d'un ouvrage de référence et base d'études plus approfondies. On prévoit effectuer périodiquement d'autres compilations.

La bibliographie commentée n'inclut pas toutes les publications antérieures du SCF. Une bonne partie des études réalisées avant 1973 au sujet de la pollution atmosphérique provenant de grandes sources ponctuelles de polluants sont mentionnées dans les renvois nos 73 et 204, et l'on peut consulter les rapports annuels de la Direction du relevé des insectes et maladies des arbres du SCF (par exemple, les renvois nos 54-56) pour la description des problèmes posés par la pollution. De nombreuses publications plus courtes et moins techniques ne sont pas mentionnées.

Les publications sont classées dans l'ordre alphabétique du nom de l'auteur principal ou unique, et les indications bibliographiques apparaissent de la façon habituelle. À la fin de chaque renvoi figure, entre parenthèses, l'abréviation du nom de l'établissement du SCF où l'auteur travaille (liste page 6), afin de faciliter les contacts et les échanges de vue.

Chaque publication est analysée. Ce commentaire est parfois semblable au résumé d'une revue scientifique; toutefois, dans de nombreux cas, nous avons fait des analyses plus détaillées et plus informatives.

Enfin, pour faciliter l'utilisation de la bibliographie, nous avons établi trois index. Le premier, à la page 7, répartit les publications selon l'établissement où l'auteur travaille. Le second, à la page 8, répartit les publications entre 10 domaines d'études : tours d'horizon, pluies acides, fluorures, dioxyde de carbone, radionucléides, etc. Le troisième, présenté aux pages 9 et 10, classe les publications par discipline : biogéochimie, dendrochronologie, insectes et maladies, reproduction des végétaux, etc.

P.A. Addison
P.J. Rennie

Réseau du Service canadien des forêts

CFP -- Centre de foresterie du Pacifique
506 West Burnside Road
Victoria (Colombie-Britannique)
V8Z 1M5

CFN -- Centre de foresterie du Nord
5320-122nd Street
Edmonton (Alberta)
T6H 3S5

CFGL -- Centre de foresterie des Grands Lacs
C.P. 490
1210 Queen Street East
Sault Ste. Marie (Ontario)
P6A 5M7

CFL -- Centre de foresterie des Laurentides
1055, rue du P.E.P.S.
C.P. 3800
Sainte-Foy (Québec)
G1V 4C7

SCF—M -- Service canadien des forêts -- Maritimes
C.P. 4000
College Hill
Fredericton (Nouveau-Brunswick)
E3B 5P7

CFTN -- Centre de foresterie de Terre-Neuve
Building 304, Pleasantville
St. John's (Terre-Neuve)
A1C 5X8

IFNP -- Institut forestier national de Petawawa
Chalk River (Ontario)
K0J 1J0

SCF—AC -- Service canadien des forêts, Administration centrale
351, boulevard Saint-Joseph
Hull (Québec)
K1A 1G5

Publications réparties selon l'établissement où l'auteur travaille

Centre de foresterie du Nord (CFN) :
1-6, 8, 10-13, 15-17, 20, 21, 27-30, 70, 74, 79, 80, 82, 84, 88-97, 101-103, 123-137, 139-146, 148, 164, 219-222, 237-239, 247.

Centre de foresterie des Grands Lacs (CFGL) :
53, 58-69, 76-78, 80, 81, 85-87, 104, 105, 120, 149-163, 216, 242, 245, 249, 250.

Centre de foresterie des Laurentides (CFL) :
31, 32, 34-36, 52, 57, 99, 100, 138, 179, 209-215, 241, 244, 246, 253.

Service canadien des forêts — Maritimes (SCF-M) :
22-24, 37-51, 98, 106-122, 165-174, 180, 206, 217, 218, 252.

Centre de foresterie de Terre-Neuve (CFTN) :
207, 208, 223-236, 240, 243.

Institut forestier national de Petawawa (IFNP) :
33, 75.

Service canadien des forêts — Administration centrale (SCF-AC) :
7, 9, 14, 18, 19, 25, 26, 49-51, 54-56, 69, 71-73, 83, 106, 107, 147, 175-178, 181-205, 248, 251.

Publications classées par domaine d'études

Articles généraux et tours d'horizon :
9, 13, 14, 18, 19, 25, 26, 42, 57, 60, 83, 120, 128, 136, 150, 151, 158, 177, 178, 181-196, 201, 219, 248, 251.

Études d'impact et bio-indicateurs :
2, 3, 5-8, 10, 17, 27, 28, 30, 31, 33, 49-52, 54-56, 61, 69, 89, 98-100, 106, 107, 110, 114, 121, 129, 147, 152, 165, 172, 173, 207-209, 213, 215, 234, 244, 250, 252.

Polluants

Pluies acides :
29, 32, 34-40, 43-51, 53, 58, 59, 62-69, 71, 72, 76-78, 87, 115-119, 138, 149, 153-157, 159-163, 166-171, 180-203, 205, 211, 213-216, 231, 236-238, 241, 242, 245, 246, 249, 253.

Dioxyde de carbone :
175-178.

Fluorures :
207, 208, 223-230, 232, 233, 235, 240, 243.

Métaux lourds :
23, 24, 30, 41, 43, 44, 46-48, 74, 81, 82, 85, 86, 97, 99, 100, 104, 105, 134, 165, 179, 209-212.

Mélanges de polluants :
4, 11, 12.

Composés azotés :
98, 108-112, 122, 199, 217, 218.

Radionucléides et uranium :
20, 21, 88.

Composés du soufre :

Articles d'intérêt général :
10, 73, 80, 144-146, 148, 165, 204, 218, 234.

Dioxyde de soufre :
15, 16, 22, 79, 84, 92-97, 101-104, 113, 123-128, 130-135, 137, 164, 174, 206, 220-222, 239.

Soufre élémentaire :
1, 70, 90, 91, 139-143, 247, 252.

Changements climatiques :
25, 26, 75, 176-178, 248.

Publications par discipline ou activité

Chimie analytique :
74, 79, 80, 139, 144, 220, 221, 224, 236.

Cycles biosphériques, bilans nutritionnels, application d'engrais :
27-29, 53, 58-68, 81, 82, 87, 98, 110, 111, 115, 118-120, 122, 141, 142, 145, 148, 152, 153, 156, 157, 159-164, 199-201, 205, 214, 217, 218, 237, 238.

Climatologie :
26, 75, 177, 178.

Dendrochronologie, croissance :
7, 34, 49-51, 60, 83, 85, 86, 102, 105, 122, 166, 167, 169, 175, 197, 210-212, 217, 244.

Économie, foresterie :
18, 69, 176-178, 185, 189, 190, 193, 194, 198, 202, 203, 205.

Écologie forestière :
2-5, 7-10, 13, 14, 25, 26, 30, 31, 34, 52, 57, 71, 72, 82, 83, 89, 91, 103, 104, 128, 129, 140, 147, 150, 151, 158, 180-184, 186-188, 191, 192, 195, 196, 198, 200, 204, 209, 211, 213, 219, 223, 225-228, 233, 234, 243, 244, 246, 248-251.

Hydrologie, précipitations :
19, 29, 53, 66, 87, 114-116, 118, 121, 138, 159-164, 171, 229, 230, 232, 237.

Insectes, maladies :
31, 54-56, 106, 107, 129, 189, 248.

Étude des lichens, bryologie :
6, 17, 84, 90, 99, 100, 135, 165, 172, 179, 207-209, 215, 239, 252.

Microbiologie :
34, 70, 143, 241, 247.

Biochimie végétale :
11, 12, 92-97, 123-125, 130-137, 170, 173, 220, 222.

Morphologie et anatomie végétales :
166-171, 173, 174, 206.

Reproduction végétale :
37-48, 231, 235, 240.

Radiochimie :
20, 21, 88.

Chimie des sols :
11, 12, 22-24, 32, 33, 35, 36, 63, 73, 76-78, 108, 109, 112, 113, 117, 119, 120, 143, 146, 149, 154, 155, 216, 242, 245, 253.

Symptomatologie, pathologie :
7, 15, 16, 31, 106, 107, 126, 127, 129, 147, 225, 229, 243, 248.

Physiologie des arbres :
16, 41, 101, 102, 126, 127.

Zoologie :
1.

Bibliographie commentée

1. Addison, J.A. 1984. The effects of elemental sulfur on soil- and litter-dwelling arthropods. Univ. Calgary Report to Can. For. Serv., Edmonton Alta. (CFN)

L'auteur a étudié les possibilités d'utiliser divers groupes d'arthropodes édaphiques et liticoles comme bio-indicateurs dans des zones polluées par la poussière de soufre élémentaire, aux alentours d'une usine de désulfuration du gaz acide, à Strachan, en Alberta. Il a trouvé que les populations de collemboles dans les points d'échantillonnage proches des terrils sulfureux étaient extrêmement faibles (de 42 à 547 spécimens.m^{-1}) par rapport aux populations observées dans des points plus éloignés (de 10 400 à 13 600 spécimens.m^{-1}). En outre, il a observé une nette influence du gradient des concentrations de polluants sur l'abondance et la diversité des espèces de collemboles. Le nombre d'acariens n'était notablement plus faible qu'aux points d'échantillonnage les plus proches, et l'auteur n'a pu établir de relation entre le nombre de carabidés ou d'araignées capturés aux divers points et le gradient des concentrations de polluants. Il conclut que, parmi tous les taxons étudiés, ce sont les collemboles qui se prêtent le mieux aux études de surveillance biologique de la pollution par le soufre.

2. Addison, P.A. 1980a. Baseline condition of jack pine biomonitoring plots in the Athabasca Oil Sands area, 1976 and 1977. Alberta Oil Sands Environ. Res. Program Rep. No. 98, Alberta Environ. 38 p. (CFN)

En 1976-1977, l'auteur a délimité 13 placettes de surveillance biologique par le pin gris dans les sables bitumineux de l'Athabasca, afin d'y étudier les empiètements et l'impact des rejets caractéristiques provenant des installations d'extraction des hydrocarbures des sables bitumineux. Il n'a observé aucun effet de la pollution atmosphérique sur les groupements végétaux de plantes vasculaires ou de lichens de ces placettes, bien qu'il ait mesuré des concentrations élevées de polluants dans les tissus de ces végétaux, dans un rayon de 10 km de la Suncor Inc., anciennement la Great Canadian Oil Sands Ltd. L'auteur souligne l'utilité de procéder à d'autres échantillonnages dans des placettes permanentes à l'avenir, car il se peut que ce soit la forte variabilité naturelle de la végétation dans cette région qui l'ait empêché de mesurer les impacts biologiques de la pollution.

3. Addison, P.A. 1980b. Ecological bench-marking and biomonitoring for detection of airborne pollutant effects on vegetation and soils. Alberta Oil Sands Environ. Res. Program Rep. No. 111, Alberta Environ. 43 p. (CFN)

L'auteur a visité à nouveau certaines placettes de surveillance biologique délimitées en 1976 et 1977, et il a procédé à un échantillonnage des groupes de végétaux vasculaires de la strate inférieure et des lichens fixés sur les branches des épinettes noires, et de la composition du sol et des tissus végétaux. Il n'a observé aucun changement mesurable de l'un ou de l'autre de ces paramètres. Au cours de cette étude, qui s'est échelonnée sur cinq ans, l'auteur a essayé plusieurs techniques de surveillance biologique. Bien qu'il n'ait décelé que peu d'effets de la pollution dans l'ensemble de la région, certaines techniques semblent prometteuses pour la surveillance biologique à long terme de ses répercussions. En règle générale, il n'a observé que très peu d'indices de réactions biologiques à l'accroissement de la pollution, en dépit des teneurs notablement plus élevés de ces polluants dans les tissus des plantes aux alentours des installations industrielles existantes.

4. Addison, P.A. 1982a. Synergisms of contaminant interaction. Proc. Counc. For. Ind. Workshop on Assimilative Capacity of the Environment, Vancouver, B.C. (CFN)

L'auteur a analysé la littérature technique décrivant l'influence des mélanges de polluants sur les écosystèmes forestiers. On connaît assez bien l'action des mélanges de polluants gazeux sur la physiologie des plantes cultivées et l'apparition de symptômes visibles. Toutefois, on connaît moins les interactions entre sol et polluants gazeux et la transformation de ces derniers dans le sol. Il est possible d'utiliser avec profit les quelques données disponibles, tout comme les nombreuses autres qui portent sur les réactions des plantes à leur environnement, en vue d'évaluer l'impact final des mélanges de polluants sur un écosystème donné. On ne peut cependant pas réaliser de telles études sans avoir préalablement comparé, de façon précise, les réactions des espèces forestières et celles des plantes cultivées aux mélanges de polluants, ni sans avoir analysé en profondeur l'état de l'environnement et les principaux facteurs influençant l'évolution des écosystèmes dans la région à l'étude. L'analyse de la littérature technique permettra d'approfondir la connaissance des effets des polluants, séparément et en mélange, sur les écosystèmes forestiers, mais elle ne peut remplacer des programmes bien conçus et bien menés de recherches multidisciplinaires en matière d'impact des rejets caractéristiques des industries périphériques sur l'écosystème forestier. De toute évidence, les nombreuses descriptions de la littérature technique constituent une première étape importante, mais il est impossible de déterminer la capacité d'assimilation des polluants par les écosystèmes forestiers sans accomplir des études poussées au sujet des effets des polluants sur l'évolution de ces écosystèmes.

5. Addison, P.A. 1982b. Biomonitoring in the Athabasca Oil Sands Area : progress and pitfalls. Pages 331-367 *in* Proc. Symp./Workshop on Acid Forming Emissions in Alberta and their Ecological Effects. Alberta Environ., Can. Pet. Assoc., Oil Sands Environ. Study Group, Edmonton, Alta. 648 p. (CFN)

En 1976, l'auteur a délimité 13 placettes de surveillance biologique par le pin gris dans la région des sables bitumineux de l'Athabasca. Bien qu'il ait choisi ces emplacements en fonction des caractéristiques du bassin atmosphérique et de la topographie, il les a répartis aussi uniformément que possible dans l'ensemble de la région. Ces placettes étaient suffisamment dispersées pour permettre une surveillance biologique à long terme des sources de pollution atmosphérique existantes et éventuelles.

La description de chaque placette a consisté en une évaluation quantitative des composants du sol et des groupements de végétaux vasculaires. L'auteur a également décrit en détail les populations de lichens, qui sont très sensibles aux polluants atmosphériques. Des photographies aériennes prises à basse altitude ont donné une vue synoptique des effets des polluants atmosphériques sur la cime des arbres aux alentours des installations d'exploitation des sables bitumineux.

Jusqu'à ce jour, le Centre de foresterie du Nord a toujours oeuvré dans des stations permanentes bien délimitées et pour lesquelles il disposait de nombreuses données. Voici les avantages d'une telle approche :

1. Elle permet d'évaluer simultanément divers paramètres que les polluants peuvent influencer, ce qui se traduit par une fiabilité accrue, car le risque d'interpréter un phénomène aléatoire comme s'il s'agissait d'une réaction significative est fortement réduit.

2. Elle permet d'étudier un paramètre en faisant varier les autres.

3. Elle permet de réduire la variabilité naturelle propre à tout écosystème, grâce à des mesures sur longue période.

4. Elle permet de tenir compte de divers genres et vitesses de réaction.

5. Elle permet de comparer divers genres de réactions et de mettre à l'essai certaines techniques précises en vue d'en déterminer la fiabilité et la reproductibilité.

Cette approche comporte toutefois des inconvénients. On ne peut s'occuper que d'un petit nombre de placettes (moins de 30), car elle nécessite un personnel nombreux. En outre, il faut que les placettes soient représentatives de la région, ce qui est particulièrement difficile si celle-ci est hétérogène. En raison de la nature multidisciplinaire des recherches, il est indispensable d'oeuvrer en équipe, ce qui est difficile à maintenir.

Dans la région des sables bitumineux de l'Athabasca, en Alberta, on a pu montrer que les polluants caractéristiques des installations d'exploitation de ces sables ne sont pas en général répartis de façon uniforme. On a observé des gradients bien évidents de la teneur en soufre et du taux de sulfatation chez les lichens, les mousses et les plantes vasculaires dans les environs des installations de la société Suncor. Il a toutefois été beaucoup plus difficile de mettre en évidence les réactions des plantes aux retombées de polluants. L'auteur n'a pu établir de rapport entre, d'une part, les observations à long terme de paramètres comme les modifications des groupements de végétaux vasculaires, l'évolution du bilan nutritionnel du sol et l'accroissement des arbres et, d'autre part, les retombées de polluants. Certaines réactions observées chez les plantes (par exemple, les modifications des groupements de lichens et l'état des thalles, la germination des graines de pin gris et la chute des aiguilles) paraissent avoir des rapports avec la pollution atmosphérique. Les réactions physiologiques des plantes vasculaires et des lichens étaient beaucoup trop variables pour qu'on puisse les utiliser. En dépit de sa variabilité, la composition chimique du sol permet de décrire chaque placette, facilitant ainsi la surveillance des retombées abondantes ou de longue durée.

6. Addison, P.A. 1984. Quantification of branch-dwelling lichens for the detection of air pollution impact. Lichenologist 16:297-304. (CFN)

Dans la région des sables bitumineux de l'Athabasca, en Alberta, l'auteur a mis à l'essai une technique de transplantation des lichens et a déterminé les effets des retombées de polluants provenant de l'extraction et du traitement des sables bitumineux sur la couverture de lichens transplantés. Il a trouvé que les erreurs de détermination photographique de la couverture de lichens dépendaient de leur espèce, mais n'a pu les corréler avec l'étendue de la couverture. L'erreur relative était importante quand la couverture était petite. Il n'a observé aucun changement notable de la couverture des groupements naturels de lichens établis sur des branches d'épinettes noires au cours d'une surveillance de quatre ans. Les changements observés chez les groupements de lichens transplantés sous des pins gris et des épinettes blanches ne différaient pas de ceux relevés chez les groupements naturels, même en longue période. L'auteur a observé de fortes diminutions d'étendue de la couverture de certains groupements de lichens établis sur des branches qu'il avait placées sous des épinettes blanches à 8,3 km d'une source de pollution. Il a observé

une réduction de la couverture des groupes d'Evernia, de Cetraria et de Bryoria, tandis que les lichens du genre Hypogymnia n'ont montré aucun changement au cours d'une période de trois ans. Les réductions d'étendue de la couverture de lichens dépassaient la marge d'erreur connue de la technique utilisée.

7. Addison, P.A. 1988. Monitoring the health of a forest : a Canadian approach. Proc. 4th World Wilderness Congr. Symp. on Acid Rain, Denver, CO (sous presse). (CFS-AC)

Au Canada, l'expression «pluies acides» englobe toutes les formes de pollution atmosphérique, qu'il s'agisse de retombées humides ou sèches, de concentrations de polluants gazeux ou de particules aériennes. Comme ces polluants peuvent, séparément ou en association, modifier directement ou indirectement l'état des forêts canadiennes, le Service canadien des forêts a mis en œuvre, en 1984, un programme national de surveillance de ces dernières (Dispositif national d'alerte rapide pour les pluies acides -- DNARPA).

Les recherches accomplies au cours des 15 à 20 dernières années au sujet des effets des polluants ont montré qu'il n'était pas possible de décrire les symptômes spécifiques de la détérioration des espèces d'arbres indigènes par les pluies acides, ni les réactions des écosystèmes forestiers à ces substances. Le DNARPA a permis de surveiller l'apparition des effets des pluies acides sur les forêts en décrivant leur état plutôt qu'en étudiant des réactions déterminées aux polluants.

Le réseau de détection utilise des gardes forestiers expérimentés qui évaluent tant l'état des placettes désignées que les dommages inhabituels subis par une forêt tout entière. Pour ce faire, ils procèdent à des mesures dendrométriques et symptomatologiques, et évaluent l'état des peuplements perturbés par des facteurs naturels ou anthropiques. Il était indispensable pour le réseau que le Service canadien des forêts y contribuât par le truchement de chercheurs réalisant des études sur toute anomalie observée dans l'état des forêts au cours des relevés annuels. Enfin, si certains dégâts ne peuvent être expliqués, on réalise un programme sur les causes possibles.

8. Addison, P.A.; Baker, J. 1979. Interim report on ecological benchmarking and biomonitoring for detection of airborne pollutant effects on vegetation and soils, 1975 to 1978. Alberta Oil Sands Environ. Res. Program Rep. No. 46, Alberta Environ. 38 p. (CFN)

Les auteurs ont délimité 11 placettes dans la région couverte par le Programme d'études environnementales sur les sables bitumineux de l'Alberta, afin de recueillir des données comparatives au sujet des effets de la pollution atmosphérique sur la végétation et les sols. Les placettes ont été choisies en fonction des besoins d'une surveillance biologique à long terme et les chercheurs ont décrit leurs espèces vasculaires et cryptogamiques, calculé la densité et l'âge des peuplements, déterminé les caractéristiques et les types de sols, et mesuré la couverture et la fréquence des espèces des strates inférieures. Ils n'ont observé aucun effet attribuable à la pollution atmosphérique et ont délimité d'autres placettes temporaires pour la mise au point des techniques de surveillance biologique. Plusieurs de ces techniques étaient suffisamment sensibles pour détecter les effets de la pollution atmosphérique dans les alentours des installations de la Suncor Inc., anciennement la Great Canadian Oil Sands Ltd.

9. Addison, P.A.; Jensen, K.F. 1987. Long-range air pollution effects on the forest ecosystem. Proc. 52nd North Am. Wilderness and Natural Resources Conf., Québec, Que. (SCF-AC)

Comme pour tout autre facteur, il y a des interactions entre la pollution atmosphérique et d'autres paramètres du milieu. Les insectes, les maladies, les incendies, le climat, ainsi que les bilans hydriques et nutritionnels peuvent influencer fortement les interactions entre arbres et polluants, et l'inverse est également vrai. À partir de données dendrochronologiques, de nombreux chercheurs se sont efforcés d'établir une relation entre la pollution atmosphérique et les variations de l'accroissement des arbres. Compte tenu de la complexité et de la variabilité des écosystèmes forestiers et de la rareté des données chronologiques précises concernant la pollution atmosphérique et les facteurs d'agression naturels, on ne peut utiliser les corrélations tirées des études dendrochronologiques pour prouver l'existence d'un lien de causalité entre pollution atmosphérique et détérioration de l'écosystème forestier.

Le rôle de la pollution atmosphérique dans le dépérissement actuel des forêts est, dans une large mesure, inconnu, et cette situation demeurera inchangée pendant de nombreuses années. L'auteur estime que, si l'on attend d'obtenir des preuves irréfutables, on court le risque tout à fait inacceptable de laisser de vastes forêts dépérir. Les programmes de lutte anti-pollution constituent l'unique moyen de contrer ses effets. Il est indispensable de communiquer aux décideurs les conclusions les mieux établies pour qu'ils puissent prendre des décisions éclairées en matière de lutte contre les polluants et assurer l'intégrité des écosystèmes forestiers à l'avantage des générations futures.

10. Addison, P.A.; Kennedy, K.A.; Maynard, D.G. 1984. Effects of sour gas processing on a forest ecosystem in west-central Alberta. Can. For. Serv. Inf. Rep. NOR-X-265. (CFN)

Les auteurs ont étudié les empiètements et l'impact de la pollution sulfureuse et des retombées particulaires de soufre issues de deux usines de désulfuration du gaz acide sur les forêts de pin de Murray (*Pinus contorta* Dougl., var. *latifolia* Engelm.) du centre ouest de l'Alberta. Dans cette région, les polluants ne se répartissent pas uniformément. La poussière de soufre élémentaire paraît se déposer dans un rayon de 1,5 km autour des usines de désulfuration, mais les auteurs ont observé de fortes concentrations de gaz sulfureux jusqu'à 45 km des principales sources de polluants. Les sols des quatre placettes couvertes par la poussière de soufre élémentaire montraient des différences notables de leurs propriétés chimiques. La réaction des végétaux à ces modifications chimiques du sol était très forte, mais les auteurs n'ont observé aucune modification du taux d'accroissement et de la reproduction du pin de Murray. Ils n'ont pu détecter d'impact des concentrations normales de gaz sulfureux sur les sols et les plantes vasculaires de cette région. La couverture de lichens semble réagir inégalement aux polluants gazeux.

11. Addison, P.A.; Khan, A.A.; Baker, J.; Malhotra, S.S.; Thériault, F.; Radford, F.; Ridgway, J.I. 1981. Effect of mixed pollutants on soil-plant microcosms. Alberta Oil Sands Environ. Res. Program Rep. No. OF-99, Alberta Environ. (CFN)

Les auteurs ont entrepris des expériences en vue de déterminer les effets à long terme des retombées constantes d'une combinaison de polluants sur l'écosystème forestier de la région des sables bitumineux de l'Athabasca. Ils ont ajouté divers mélanges de polluants en quantités représentant jusqu'à 104 années de retombées sur

un microhabitat de pin gris sur brunisol dystrique. Ils n'ont jusqu'ici observé aucune réaction mesurable de la végétation, mais continuent à mesurer les réactions de la végétation et du sol.

12. Addison, P.A.; Khan, A.A.; L'Hirondelle, S.J.; Thériault, F. 1982. Impact of air pollutants on forest vegetation and soils. Alberta Oil Sands Environ. Res. Program Rep. No. OF-43, Alberta Environ. (CFN)

Les auteurs n'ont observé aucune modification physiologique du pin gris après avoir appliqué au sol intact une quantité des principaux polluants solubles équivalant à 104 années de retombées provenant de l'extraction des hydrocarbures des sables bitumineux. Leurs recherches montrent que la litière végétale (horizons L-F-H) jouent le premier rôle dans la protection du sol minéral et des plantes établies contre l'action des polluants, soit en améliorant l'équilibre nutritionnel, soit en formant des complexes avec les polluants. L'addition de SO_4 solubilise plusieurs cations importants et, sur le terrain, certains éléments nutritifs peuvent se raréfier. Les polluants métalliques n'ont pas augmenté la solubilité des cations comme cela a été signalé ailleurs.

13. Addison, P.A.; L'Hirondelle, S.J.; Maynard, D.G.; Malhotra, S.S.; Khan, A.A. 1985. Effect of oil sands processing emissions on the boreal forest. Can. For. Serv. Inf. Rep. NOR-X-284, Edmonton, Alta. (CFN)

Les auteurs font le tour d'horizon des études effectuées de concert par le Service canadien des forêts et le ministère de l'Environnement de l'Alberta. En plus de décrire les documents publiés de 1974 à 1984, ils résument des documents inédits et internes du ministère de l'Environnement de l'Alberta portant sur des polluants (métaux, sulfates et nitrates), la pollution des sols et les effets biochimiques et physiologiques de cette pollution sur les pins gris qui y croissent.

14. Addison, P.A.; Linzon, S.N.; Hogan, G.D., editors. 1986. Assessment of the state of knowledge on the long-range transport of air pollutants and acid rain. Part 4. Terrestrial effects. LRTAP Liaison Office, Research Monitoring and Coordinating Committee, Toronto, Ont. 80 p. (SCF-AC).

Cette évaluation canadienne du progrès des connaissances sur le transport à grande distance des polluants atmosphériques fournit une synthèse valable, sur les plans scientifique et technique, pour élaborer la stratégie de réduction des émissions de polluants. Pour atteindre cet objectif dans le cadre continental, le sous-groupe des effets terrestres du Comité fédéral-provincial de surveillance et de coordination de la recherche a posé une seule question qui permettra de circonscrire le rapport et d'aider les décisionnaires : «Quelles sont les preuves des effets des polluants transportés à grande distance sur les écosystèmes telluriques?».

La réponse à cette question se fonde sur les articles publiés par la communauté scientifique et ses activités actuelles, y compris, entre autres, les conclusions présentées au Colloque international sur les précipitations acides, qui s'est déroulé à Muskoka en 1985.

Les scientifiques suivants ont fait des contributions à cette évaluation: P.A. Addison, P.J. Rennie (SCF-AC), R.M. Cox, M.K. Mahendrappa (SCF-M), R. Boutin, G. Robitaille (CFL), N.W. Foster, G.D. Hogan, I.K. Morrison (DFGL), A.J.S. Tims (Ministère des Affaires municipales et de l'Environnement du Nouveau-Brunswick), M.L. Carrier (Ministère de l'Énergie et des Ressources du Québec), D. Dimma, A.

Kuja, S.N. Linzon, R.G. Pearson (Ministère de l'Environnement de l'Ontario), D. Wotton (Ministère de l'Environnement du Manitoba) et K. Fisher (Service canadien de la faune).

15. Addison, P.A.; Malhotra, S.S. 1979. Symptomatology and threshold levels of air pollutant injury to vegetation 1978. Alberta Oil Sands Environ. Res. Program Rep. No. OF-1, Alberta Environ. (CFN)

Dans des conditions réglées en laboratoire, les auteurs ont exposé des plantes ligneuses dominantes de la forêt boréale à de l'air contenant 0,34 ppm de SO_2, afin d'évaluer leur sensibilité physiologique aux polluants atmosphériques et la modification correspondante de leur aspect. Les arbres et arbustes à feuilles caduques se sont montrés beaucoup plus sensibles que les conifères, sans doute parce que les feuilles larges absorbent mieux le SO_2 que les aiguilles. La sensibilité au SO_2 du lédon du Groenland (thé du Labrador), ainsi que la faible absorption de ce polluant par ses feuilles, le placent entre les deux groupes. Les pins gris sont plus sensibles que les épinettes noires ou blanches, mais les auteurs n'ont pu classer les espèces à feuilles caduques en fonction de leur sensibilité.

16. Addison, P.A.; Malhotra, S.S.; Khan, A.A. 1984. Effect of sulfur dioxide on woody boreal forest species grown on native soils and tailings. J. Environ. Qual. 13:333-336. (CFN)

Cette étude visait à déterminer l'influence d'un air contenant 0,34 $\mu g.L^{-1}$ (teneur maximale admissible au Canada) de SO_2 sur le taux net d'assimilation du CO_2 (TNA) et sur l'apparition de symptômes chez diverses espèces ligneuses croissant dans la forêt boréale. Leur exposition à l'air contenant du SO_2 a réduit, de façon marquée, le TNA chez toutes les espèces et a produit des dommages apparents au bout de 2 à 20 jours. La diminution du TNA chez les espèces d'arbres à feuilles caduques [peuplier faux-tremble (*Populus tremuloides* Michx.); les saules (*Salix*); aulne vert d'Amérique (*Alnus crispa* [Ait.] Pursh); bouleau à papier (*Betula papyrifera* Marsh.)] a été bien plus rapide que chez les conifères [pin gris (*Pinus banksiana* Lamb.); épinette blanche (*Picea glauca* [Moench] Voss); épinette noire (*P. mariana* [Mill.] B.S.P.] ou chez une espèce d'angiosperme [thé du Labrador (*Ledum groenlandicum* Oeder)] croissant dans un brunisol enrichi d'engrais. Des symptômes sont aussi apparus plus tôt chez les espèces d'arbres à feuilles caduques mais, dans tous les cas, ces symptômes ne se sont pas manifestés avant que le TNA n'ait diminué de façon marquée. Ces réactions métaboliques visibles semblent liées à des différences du taux d'absorption du soufre, découlant en partie d'un taux d'échange gazeux plus élevé chez les espèces d'arbres à feuilles caduques que chez les conifères.

Après l'exposition au SO_2, le TNA de conifères croissant sur les terrils de sable épuisé a diminué beaucoup plus rapidement que celui des conifères croissant dans le brunisol. Comme les deux types de sols avaient reçu de l'engrais, cette diminution ne pouvait être causée par une carence en éléments nutritifs. Les auteurs estiment que les conifères croissant sur les terrils avaient été sensibilisés à l'exposition au SO_2, soit par la présence de substances toxiques dans ces résidus miniers, soit à cause d'une exposition antérieure modérée au SO_2, soit encore à cause de la sécheresse. Les auteurs n'ont observé aucune différence quant à l'absorption du soufre et à l'apparition de symptômes entre les arbres croissant sur les terrils et ceux se développant dans le brunisol.

17. Addison, P.A.; Puckett, K.J. 1980. Deposition of atmospheric pollutants as measured by lichen element contents in the Athabaska Oil Sands area. Can. J. Bot. 58:2323-2334. (CFN)

Les auteurs ont mesuré, dans 69 points d'échantillonnage de la région des sables bitumineux de l'Athabaska, dans le nord de l'Alberta, les teneurs en aluminium, potassium, soufre, titane et vanadium des lichens *Cladina arbuscula* (Wallr.) Hale et W. Culb, *Evernia mesomorpha* Nyl. et *Hypogymnia physodes* (L.) Nyl. L'accumulation de ces éléments par ces lichens dépend des rejets gazeux et particulaires de sources industrielles et des poussières éoliennes locales. La répartition des retombées atmosphériques aux alentours de l'usine d'extraction des hydrocarbures des sables bitumineux, telle que mesurée dans les thalles des lichens, apparaît très semblable à celle indiquée par les relevés physiques et chimiques. Les changements visibles de l'état du thalle semblent dépendre de la concentration des éléments cités.

18. Addison, P.A.; Rennie, P.J. 1987. Long-range transport of air pollution. Can. For. Serv., Res. Tech. Serv. Advis. Rep., Ottawa, Ont. 30 p. (SCF-AC)

Les auteurs traitent du progrès des connaissances au sujet des rapports qui existent entre le dépérissement des forêts et le ralentissement de la croissance des arbres d'une part, et la pollution atmosphérique d'autre part, et ils présentent une description du programme de TGDPA du Service canadien des forêts.

19. Altshuller, A.P.; McBean, G.A. 1979. Le transport des polluants atmosphériques sur de grandes distances en Amérique du Nord : un examen préliminaire préparé par le Groupe consultatif de recherche États-Unis - Canada sur le transport des polluants atmosphériques sur de grandes distances. (SCF-AC)

Il s'agit d'un tour d'horizon documenté des connaissances actuelles en matière de pluies acides et de pollution atmosphérique. Les auteurs abordent les sujets suivants : rejets, pollution transfrontière, modélisation et retombées atmosphériques, et répercussions sur les écosystèmes aquatiques et terrestres. De nombreux spécialistes du Groupe consultatif de recherche États-Unis-Canada ont collaboré à la préparation de ce résumé, et d'autres sources sont mentionnées.

20. Apps, M.J.; Duke, M.J.M.; Turner, B.V. 1985. Fission track mapping of uranium in black spruce (*Picea mariana* [Mill.] B.S.P.) twigs. J. Radioanal. Nucl. Chem. 110(1):243-252. (CFN)

Les auteurs ont examiné par imagerie les traces de fission de l'uranium présent dans les rameaux d'épinettes noires croissant dans des zones de minéralisation d'uranium et sur les haldes d'extraction de ce métal. Leur répartition montre que l'uranium se concentre principalement et uniformément dans le rhytidome de l'écorce; moins de 5 % du métal se concentre dans le xylème ligneux.

Les auteurs exposent les arguments en faveur d'un transport de l'uranium par le système vasculaire, bien qu'ils n'aient pu faire une nette distinction entre les absorptions foliaire et racinaire. La diminution de la teneur des rameaux en uranium en fonction de leur âge, observée antérieurement, peut s'expliquer actuellement par la réduction de la proportion d'écorce enrichie en uranium dans le total de la biomasse des rameaux au cours de leur croissance.

21. Apps, M.J.; Duke, J.M.J.; Stephens-Newsham, L.G. 1988. A study of radionuclides in vegetation on abandoned uranium tailings. J. Radioanal. Nucl. Chem. (sous presse). (CFN)

Les auteurs ont mesuré l'absorption d'uranium et d'autres radionucléides par les plantes croissant sur les haldes abandonnées d'une mine d'uranium. Parmi les techniques de dosage employées, mentionnons l'analyse par activation neutronique, le comptage différé des neutrons, l'imagerie des traces de fission et le comptage des désintégrations naturelles. Les auteurs ont pris soin d'éviter la contamination des tissus végétaux, et ils décrivent quelques méthodes pour la détecter. Les plantes observées ont montré un taux d'absorption des radionucléides plus élevé que celui des plantes croissant dans des zones naturellement uranifères et des zones témoins. Ils ont observé une forte absorption d'uranium par les parties aériennes des plantes herbacées, tandis que chez les plantes ligneuses, ce sont les racines qui présentaient un taux d'accumulation extrêmement élevé de cet élément. Ces résultats sont fort utiles pour la mesure de la dispersion des substances radioactives provenant des haldes minières.

22. Arp, P.A.; Manasc, J. 1988. Red spruce stands downwind from a coal-burning power generator : tree-ring analysis. Can. J. For. Res. 18:251-264. (SCF-M)

Les auteurs ont fait l'analyse chimique des cernes des épinettes rouges (*Picea rubens* Sarg.) d'un peuplement inéquienne poussant sous le vent d'une source de gaz sulfureux (un groupe électrogène alimenté au charbon), en vue de déterminer les tendances de la répartition géographique et chronologique des taux d'accroissement des fûts et des concentrations des éléments (Al, Ca, Mg, K, P, Zn, Fe, Ni, Cu, Cr) dans le xylème. Ils ont classé les sections couvrant cinq années de chaque carotte dendrochronologique en fonction de la distance de la source de gaz sulfureux, de la période quinquennale de formation des cernes et de l'âge de l'arbre échantillonné (jeunes arbres < 35 ans; vieux arbres > 45 ans). Les auteurs ont également fait l'analyse chimique du sol de tous les peuplements (28 au total) selon son profil (couverture morte, horizons A et B), en mesurant le pH, les K, Ca, Mg et Al échangeables, et l'Al et Fe extractibles à l'oxalate. Ils ont également analysé la couche de neige tassée sous chaque peuplement lors de trois échantillonnages, en février et mars 1986.

Les données nivales concernant le pH, Mg, K, et SO_4 étaient extrêmement variables, peut-être en raison de certains envols de cendres. Les données pédologiques étaient également variables, mais montraient un apport de SO_4 soluble dans l'eau et extractible au bicarbonate et une exportation de Mg échangeable en fonction de la proximité du groupe électrogène. Les teneurs en magnésium du bois des épinettes rouges suivaient une tendance similaire.

Les auteurs ont trouvé que les concentrations de Ca, Mg, Mn et Zn dans le bois décroissaient en fonction de l'âge du peuplement. Par contre, c'est dans le xylème le plus récent que celles de P, K, Fe, Ni, Cu, et Cr étaient les plus élevées. Il est probable que certaines de ces variations proviennent : a) de la forte affinité du xylème pour ces éléments au cours de sa formation; ou b) de leur migration par la sève du xylème. Certaines variations peuvent aussi découler des modifications de la mobilisation des ions dans le sol, ou peut-être de la pollution atmosphérique. Les variations de la compétition entre les arbres du même peuplement causées par l'abattage sélectif et par les attaques répétées de la tordeuse des bourgeons de l'épinette (*Choristoneura fumiferana* Clem.) ont probablement modifié l'allure des variations du taux moyen d'accroissement des fûts dans chacun des peuplements

inéquiennes. De même, un accroissement des rejets de gaz sulfureux a-t-il eu un effet négatif sur la croissance radiale des fûts.

Les variations du climat, année après année, semblent être, par le truchement de l'eau apportée au sol par les précipitations, le facteur premier du taux d'accroissement des arbres. Ce taux (calculé pour un peuplement équienne d'épinettes rouges au vent du groupe électrogène) avait une corrélation positive avec les précipitations de l'année précédente et avec celles des mois de juillet et août de l'année courante (période de formation du bois d'été). Le taux d'accroissement avait une corrélation négative avec les périodes prolongées de chaleur au cours de la formation du bois de printemps.

23. Arp, P.A.; Ouimet, R. 1986a. Aluminum speciation in soil solutions: equilibrium calculations. Water Air Soil Pollut. 31:359-366. (SCF-M)

Les auteurs ont utilisé la méthode de simulation par ordinateur pour montrer comment le pH (de 2,0 à 10,0) des solutions d'acides organiques (acides citrique, oxalique, phtalique et salicylique), d'ions métalliques (K, Mg, Ca, Al, Fe), de coordinats minéraux (F, OH, SO_4, PO_4, CO_3 et SiO_3) et de minéraux contenant de l'aluminium (koalinite, gibbsite ou $Al(OH)_3$) amorphe) possiblement présents peuvent modifier le coefficient de solubilité et la différenciation des minéraux aluminifères dans des solutions de sol bien aéré. La simulation montre que la nature des minéraux contenant de l'oxyde ou de l'hydroxyde d'aluminium détermine largement la composition minérale ou organique de la solution stoechiométrique du sol et la présence (ou l'absence) d'autres minéraux contenant de l'aluminium comme l'alunite ($KAl_3(SO_4)_2(OH)_6$) et le jurbanite ($Al(SO_4)(OH).5H_2O$.

24. Arp, P.A.; Ouimet, R. 1986b. Uptake of Al, Ca, and P in black spruce seedlings : effect of organic versus inorganic Al in nutrient solutions. Water Air Soil Pollut. 31:367-375. (SCF-M)

Les auteurs ont traité, pendant 28 jours, des plants d'épinette noire (*Picea mariana* [Mill.] B.S.P.) de deux ans, cultivés en serre dans des godets en papier avec des solutions dosées d'éléments nutritifs, afin d'évaluer l'absorption d'Al, de P, et de Ca par ces plants, en présence, d'une part, d'Al organique et, d'autre part, d'Al minéral dans le milieu d'enracinement (pH=3,0; O < Al total < 48 $mg.L^{-1}$). L'oxalate ajouté aux solutions d'éléments fertilisants (O < oxalate < 2,4 mmol) a joué le rôle d'agent séquestrant de l'Al organique. Les résultats ont montré que les plants avaient absorbé une quantité d'Al proportionnelle à ses concentrations dans le milieu d'enracinement; l'absorption d'Al par les plantes traitées au complexe oxalique d'Al était un peu plus élevée que celle des plantes traitées à l'Al minéral. En outre, dans les deux cas, les teneurs d'Al dans les racines étaient beaucoup plus élevées que celles relevées dans les pousses. Le mode d'absorption de P n'était similaire à celui de l'absorption d'Al que dans le cas des racines, c'est-à-dire que les teneurs de P dans les racines y étaient proportionnelles à celles d'Al. L'accroissement des teneurs de P dans les racines n'avait pas de relation avec celui des pousses. La teneur en calcium des racines a diminué légèrement par suite de l'augmentation des concentrations d'Al minéral et organique, mais a augmenté fortement avec l'accroissement des concentrations de complexe oxalique d'Al dans le milieu d'enracinement.

25. Auclair, A.N.D. 1987a. The distribution of forest declines in Eastern Canada. Pages 307-319 *in* L. Kairiukstis, S. Nilsson and A. Straszak, eds., Proc. Workshop on Forest Decline and Reproduction : Regional and Global Consequences, 23-28 March,

Int. Inst. Appl. Syst. Anal., Pol. Acad. Sci., Int. Union For. Res. Org., Krakow, Poland. (SCF-AC)

Ce compte rendu traite très sommairement du dépérissement des forêts dans l'Est canadien. Au Canada, les préoccupations causées par le rôle possible des pluies acides dans l'accélération récente du dépérissement des forêts ont encouragé les recherches sur les effets de la pollution atmosphérique sur la santé et la croissance des arbres. Ce compte rendu n'en traite pas, mais envisage plutôt la répartition géographique de la détérioration forestière; ces données peuvent être fort utiles à d'autres études de corrélation environnementale et d'étiologie.

Bien qu'on ait l'impression d'avoir une bonne documentation sur le dépérissement des forêts dans l'est de l'Amérique du Nord, il a été difficile de recueillir des données complètes sur la nature et l'étendue de cette détérioration. Des cartes et une description des symptômes pour certaines espèces forestières sont disponibles dans certains États et provinces, mais on n'en a pas encore compilé de synthèse. Toutefois, plusieurs projets sont en voie de réalisation.

26. Auclair, A.N.D. 1987b. The climate change theory of forest decline. *In* D.P. Lavender, ed., Proc. IUFRO Conf. on Woody Plant Growth in a Changing Physical and Chemical Environment, Univ. British Columbia, Vancouver, B.C. (SCF-AC)

On a établi un rapport évident entre le réchauffement de l'hémisphère Nord et le dépérissement des forêts. En 1925, 1937 et 1981, le dépérissement généralisé des houppiers des espèces forestières feuillues croissant dans l'est du Canada a été relié à des périodes d'augmentation rapide de la température du globe. On proposa une théorie, basée sur la littérature technique pertinente, et liant les variations extrêmes du climat avec la mortalité des racines des arbres. Une analyse détaillée des variations climatiques marquées observées pendant l'hiver et le printemps de 1981 dans le sud du Québec a révélé que le dépérissement des érables à sucre était dû aux effets conjugués du gel de l'hiver précédent et d'une dessication due à la persistance de la glace dans le sol à la fin du printemps. On a donc estimé qu'il ne s'agissait pas d'un dépérissement général des érables à sucre causé par un seul phénomène, mais bien de plusieurs cas de dépérissement locaux dus à diverses variations météorologiques extrêmes ayant parfois une action synergique. Comme ces observations mettaient en cause les gaz produisant un effet de serre ainsi que des pluies acides jouant un rôle d'importance dans le dépérissement des forêts, on a pu réorienter les recherches en conséquence.

27. Baker, J. 1977. Nutrient levels in rainfall, lodgepole pine foliage and soils surrounding two sulfur gas extraction plants in Strachan, Alberta. Can. For. Serv. Inf. Rep. NOR-X-194. (CFN)

L'auteur a analysé des échantillons témoins et des échantillons de pluie, de tissus de pin de Murray et de sols pollués par le SO_2 que rejettent deux usines d'épuration du gaz dans le voisinage. Les échantillons de pluie du point le plus affecté contenaient de plus fortes teneurs de $S\text{-}SO_4$ que les témoins. Les aiguilles et les rameaux de pin de Murray contenaient diverses quantités de cations et d'anions, selon la source de ces matériaux. Les tissus des pins poussant dans les points affectés contenaient de plus fortes teneurs de soufre et d'aluminium, mais de plus faibles teneurs de calcium, de magnésium et de phosphore que les tissus des témoins. La composition ionique des solutions de sol et les complexants des deux régions d'échantillonnage différaient également. Les échantillons de la région la plus

affectée contenaient des teneurs plus faibles d'ions basiques (Ca, Mg, K, etc.), et de plus fortes teneurs de constituants acides (Al, S, etc.), en dépit de l'uniformité générale du sol dans toute la zone étudiée.

28. Baker, J. 1980. Differences in the composition of soils under open and canopy conditions at two sites close-in to the Great Canadian Oil Sands Operation, Fort McMurray, Alberta. Alberta Oil Sands Environ. Res. Program Rep. No. 97, Alberta Environ. 20 p. (CFN)

Les teneurs de plusieurs macro-éléments nutritifs différaient dans les échantillons de sol prélevés par l'auteur dans les points 1 et 2 (situés respectivement à 2,3 et 5,3 km au sud des installations de la Suncor Inc., anciennement la Great Canadian Oil Sands, à Fort McMurray). Les éléments fertilisants et le pH des sols présentaient des différences marquées selon qu'ils provenaient d'un terrain découvert ou d'un couvert forestier. C'est la présence ou l'absence de ce dernier qui paraît le principal facteur causant ces différences; toutefois, cela n'explique peut-être pas entièrement les écarts relevés entre les teneurs de soufre et de titane. Les teneurs de S étaient plus élevées dans le feuillage de pins gris échantillonnés au point 1 que dans ceux du point 2, phénomène peut-être causé par le soufre présent dans l'atmosphère. Les autres différences des teneurs d'éléments fertilisants dans le feuillage sont fort probablement causées par d'autres phénomènes naturels. À ce jour, en dépit des teneurs plus élevées de S mesurées tant dans le feuillage des pins gris que dans les sols sous l'abri du couvert du point de prélèvement 1, il n'y a pas de preuve concluante que les polluants libérés dans l'atmosphère au cours de l'ensemble des activités d'exploration aient modifié l'équilibre des éléments fertilisants dans la zone à l'étude ou qu'ils soient responsables des différences observées dans les deux points de prélèvement.

29. Baker, J.; Hocking, D.; Nyborg, M. 1977. Acidity of open and intercepted precipitation in forests and effects on forest soils in Alberta, Canada. Water Air Soil Pollut. 7:449-460. (CFN)

Les rejets de SO_2 semblent acidifier la précipitation brute, l'eau de pénétration par les frondaisons, le ruissellement sur écorce et la solution du sol aux alentours des grandes sources de ce polluant. Il en résulte, entre autres, de fortes concentrations d'acides et d'aluminium extractibles et une diminution quantitative des bases échangeables, notamment Ca et Mg. En règle générale, ces répercussions ne sont apparues que récemment dans la zone sous étude.

30. Blauel, R.A.; Hocking D. 1974. Air pollution and forest decline near a nickel smelter. Can. For. Serv. Inf. Rep. NOR-X-115. (CFN)

La fonderie située près de Thompson, Manitoba, rejette de fortes quantités de gaz sulfureux et de particules par une très haute cheminée. La dispersion de ces polluants par les vents a détérioré les forêts ici et là sur plus de 50 km^2. Tous les composants de la végétation forestière ont souffert des retombées directes de polluants. On observe des zones couvertes d'arbres malades ou morts, et même une raréfaction générale des cryptogames vulnérables. Cette détérioration s'intensifiera, et la surface affectée s'étendra si l'envergure de la pollution se maintient. Les auteurs ont détecté une pollution de l'humus dans une région beaucoup plus étendue. Les teneurs en soufre et en nickel sont très élevées aux alentours de la cheminée, et décroissent à mesure qu'on s'en éloigne.

Le nickel et peut-être d'autres métaux lourds s'accumulent jusqu'à atteindre des concentrations telles qu'il sera économiquement impossible de les éliminer. Cette situation risque fort d'entraîner une grave détérioration du milieu environnant par la dilution et la dispersion atmosphériques des fumées de la fonderie.

31. Bordeleau, C.; Guérin, D.; Innes, L.; Lachance, D.; Picher, R. 1987. Dépérissement des érablières au Québec, 1987. Insectes et maladies des arbres, Supplément de Forêt-Conservation, 54(10). (CFL)

On estime que le dépérissement des arbres à feuilles caduques constitue le plus important symptôme pathologique affectant les forêts de feuillus du Québec. L'article reproduit des cartes et des données tirées de relevés aériens effectués au nord de l'Outaouais en 1987. Sur les 964 237 ha photographiés, 48,7 % ne sont pas affectés ou le sont peu, 50,4 % le sont légèrement, et 0,9 % est de modérément à fortement détérioré. Les comparaisons chronologiques effectuées entre des placettes d'autres régions en 1983 et 1986 montrent un accroissement et une extension du dépérissement. L'article présente un sommaire de l'état des 25 placettes permanentes d'échantillonnage établies en 1984 et 1985 d'un bout à l'autre du Québec, dans le cadre du Réseau national d'alerte rapide pour les pluies acides.

32. Boutin, R.; Robitaille, G. 1987. Effects on endogenous and exogenous sources of acidification on the chemical properties of a podzol. Pages 429-436 *in* R. Perry, R.M. Harrison, J.N.B. Bell and J.N. Lester, eds., Acid rain : Scientific and technical advances. Publ. Div., Selper Ltd., London. (CFL)

Les auteurs ont effectué une expérience d'acidification in vitro sur les profils reconstitués d'un podzol ferro-humique orthique. La production endogène d'ions H^+ issus de la nitrification a entraîné une importante diminution du pH et des teneurs en bases échangeables dans les horizons organiques L, F. et H. Ce processus a provoqué un lessivage plus marqué de K que de Mg et de Ca, si on l'exprime en pourcentage de concentrations initiales. L'acidification due à des sources exogènes a eu l'effet inverse : par rapport au témoin (pH de 5,6), les eaux acidifiées (pH de 4,3 à 2,6 et proportion de H_2SO_4/HNO_3) de 2 pour 1) ont entraîné des réductions notables du gradient des concentrations de Ca et de Mg, tandis que des exportations importantes de K n'ont été observées qu'à un pH de 2,6. Dans les horizons minéraux, les concentrations d'éléments basiques n'ont pas diminué de façon marquée, et l'acidification a entraîné une baisse notable du pH liée à des concentrations accrues d'Al dans la solution du sol.

33. Brand, D.G.; Kehoe, P.; Connors, M. 1986. Coniferous afforestation leads to soil acidification in central Ontario. Can. J. For. Res. 16:1389-1391. (IFNP)

Les auteurs ont mesuré à nouveau, après 46 années, le pH du sol de vingt plantations de conifères dans des terres agricoles abandonnées à l'Institut de foresterie national de Petawawa, et ont mis en lumière une importante baisse du pH. Ce sont les sols où pousse le pin blanc (*Picea glauca* [Moench] Voss) qui ont montré l'acidification la plus forte, car le pH moyen de 13 de ces plantations a diminué de 1,28.

34. Camire, C.; Gingras, J.F. 1982. Effets potentiels des précipitations acides sur la germination, la croissance et la mycorhization de semis de sapin baumier (*Abies balsamea* [L.] Mill.). Rapport élaboré sous contrat pour le compte du CFL/SCF. 29 p. (CFL)

Les auteurs ont étudié les effets possibles des pluies acides sur la germination, la croissance in vitro et la colonisation in situ par des mycorhizes, ainsi que les incidences de l'acidité pour l'activité microbienne dans l'humus. Des niveaux de pH de 2,0 à 5,6 n'ont pas entravé, de façon marquée, la viabilité germinative des sapins. L'application de 10 mEq de H-HSO_2/100 g ou plus de sol a provoqué un ralentissement du développement in vitro des sapins croissant sur les horizons L et F. Sur le terrain, la colonisation par des mycorhizes des plants de sapin âgés de 1 à 6 ans n'a diminué que lorsqu'on a appliqué la plus forte concentration de H, à savoir de 100 mEq de H/100 g de sol des horizons L et F. L'application d'acides a entravé l'activité microbienne dans ces horizons, même quand les concentrations employées étaient faibles.

35. Camire, C.; Lesage, D. 1982. Effets potentiels des précipitations acides sur un podzol. Rapport élaboré sous contrat pour le compte du CFL/SCF. 30 p., 141 fig. (CFL)

Les auteurs ont examiné les effets possibles des pluies acides sur un podzol du parc des Laurentides, au Québec. Ils ont placé sous incubation in vitro du podzol qu'ils ont arrosé avec de l'eau contenant diverses concentrations d'acide sulfurique. Ils ont ajouté de 0 à 100 mEq de H/100 g sur les horizons organiques et de 0 à 20 mEq de H/100 g sur les horizons minéraux. Les horizons L et F ont montré un fort effet tampon. Les auteurs ont pu y corréler l'augmentation de la concentration d'acide sulfurique appliquée avec une augmentation du taux net de minéralisation de l'azote, mais aussi avec une diminution de la nitrification. En outre,le taux net de minéralisation du soufre n'a guère paru diminué par l'application d'acide sulfurique à des concentrations atteignant jusqu'à 5 mEq de H/100. Les horizons spodiques ont fortement fixé les sulfates appliqués. Dans tous les horizons, à l'exception de ceux qui viennent d'être mentionnés, l'acidité accrue a solubilisé le phosphore. La base la plus fortement solubilisée était le calcium, et ses minéraux ont été attaqués. L'application de faibles concentrations d'acide a fortement solubilisé l'aluminium.

36. Camire, C.; Prégent, G. 1987. Acidification, lessivage ionique et absorption du sulfate dans un podzol ferro-humique soumis à des ajouts d'acidité. Rapport rédigé sous contrat du CFL/LFC. 47 p., fig., tableaux. (CFL)

Pendant les étés de 1984 et de 1985, les auteurs ont échantillonné la solution du sol à l'interface des horizons H et Ae d'un podzol ferro-humique acidifié aux H_2SO_4 et HNO_3, au moyen de lysimètres à tension, et l'ont analysée en laboratoire. Ils ont également prélevé des échantillons des divers horizons du profil en vue d'en effectuer l'analyse en laboratoire deux semaines après la fin des traitements, en automne de 1985. L'horizon F du podzol produisait un fort effet tampon; ce n'est qu'au moment de l'application des plus fortes concentrations d'acides que les chercheurs ont observé un important lessivage des bases (Ca, Mg, K et Na) dans les horizons F et H, lesquelles se sont accumulées dans l'horizon Bhf_1. Cet horizon a fixé une grande quantité de sulfate (210 mg de S-SO_4^{2-}.kg^{-1} alors que les témoins n'en ont fixé que 23 mg. La fixation du sulfate dans les horizons Bhf_1 et Bhf_2 dépend de la présence de diverses formes d'aluminium. L'équation modifiée de Freundlich quantifie exactement l'absorption dans ces horizons pour des concentrations stoechiométriques s'élevant jusqu'à 90 mmol ($1/2SO_4^{2-}$).

37. Cox, R.M. 1983a. Sensitivity of forest plant reproduction to long range transported air pollutants: in vitro sensitivity of pollen to simulated acid rain. New Phytol. 95:269-276. (SCF-M)

Bien que certains auteurs aient étudié les effets directs des précipitations acides sur la végétation, rares sont ceux qui ont examiné leurs répercussions sur la reproduction des plantes. L'auteur décrit les vulnérabilités relatives de 13 espèces forestières à une gamme d'acidités des pluies, sur les plans de la germination du pollen et de la croissance du tube pollinique. Les essais in vitro lui ont montré que des valeurs de pH de 5,6 à 2,6 influent notablement sur la germination du pollen de toutes les espèces étudiées. Un pH de 3,0 (1000 $\mu Eq\ H^+.L^{-1}$) a notablement inhibé la germination du pollen parmi deux tiers des espèces étudiées, tandis que les effets observés à un pH de 4,6 (25 $\mu Eq\ H^+.L^{-1}$) étaient limités. Toujours en matière de germination du pollen, les feuillus étaient plus sensibles au pH que les résineux, et les espèces du taillis sous futaie et au sol présentaient une sensibilité intermédiaire. L'auteur souligne que toutes les valeurs de DL_{50} découlant de l'action du pH initial de culture sur la germination du pollen correspondaient à la plage d'acidités des pluies dans l'est du Canada. Il faudra accomplir d'autres recherches sur les réactions in vivo afin de déterminer si les taux d'acidité des retombées inhibent la reproduction des plantes dont les grains de pollen sont sensibles.

38. Cox, R.M. 1983b. Determination of the sensitivity of pollination processes of different forest flora species to simulated acid rain. Rapport rédigé sous contrat pour le Service canadien des forêts. 110 p. (SCF-M)

L'auteur décrit ses études des effets de l'acidité et des métaux sur la reproduction des plantes ligneuses et herbacées. Elles ont été effectuées à l'Université de Toronto et la plupart des résultats ont été publiés dans des revues scientifiques.

39. Cox, R.M. 1983c. The sensitivity of forest flora reproduction to long range transported air pollutants. Pages 823-826 *in* Proc. Int. Conf. Heavy Metals in the Environment. Vol. 2. CEP Consultants Ltd., 26 Albany St., Edinburgh, UK. (SCF-M)

L'auteur compare la sensibilité in vitro des pollens de 12 espèces d'arbres à une gamme d'acidités et établit un rapport entre la répartition des pluies dans le nord-est de l'Amérique du Nord et les étages du couvert occupés par ces espèces. Il a examiné les effets des simulations sur le terrain de précipitations acides sur l'*Oenothera parviflora* : les DL_{50} inhibant la germination du pollen et la production de tubes polliniques assez longs pour pénétrer le tissu stigmatique atteignaient respectivement des pH de 3,45 et de 4,66. L'auteur a effectué des essais de germination avec des grains de pollen de *Pinus strobus* prélevés dans des zones acides et calcaires, en présence de divers pH et concentrations d'Al. Il envisagera les interactions synergiques en fonction de la toxicité d'Al et comparera la sensibilité in vitro et les besoins écologiques du sporophyte, et les conséquences possibles de la sélection des microgamétophytes sur l'adaptation des générations futures.

40. Cox, R.M. 1984. Sensitivity of forest plant reproduction to long range transported air pollutants : in vitro and in vivo sensitivity of *Oenothera parviflora* L. pollen to simulated acid rain. New Phytol. 97:63-70. (SCF-M)

L'auteur examine les effets *in vitro* et *in vivo* de précipitations acides simulées sur la pollinisation d'*Oenothera parviflora* L. provenant de diverses populations. Il a observé les réactions du pollen à l'acidité (pH de 5,6 à 2,6) dans les cultures en gouttes stationnaires et la réceptivité des stigmates floraux au cours de simulations de pluies acides sur le terrain. Au cours des essais *in vitro*, il a observé l'effet inhibiteur notable du pH sur le pollen et a noté que les valeurs de pH inférieures à 3,6 inhibaient tant la germination que la croissance des tubes polliniques par comparaison

à un pH de 5,6. Les DL_{50} inhibant la germination du pollen in vitro, soit les valeurs initiales de pH des cultures pour les divers types de pollen, allaient de 3,49 à 3,72. La réceptivité des stigmates, quantifiée par la germination et la croissance initiale du tube pollinique à la surface des stigmates, a aussi diminué de façon notable ($P < 0,01$) au cours des simulations de pluies acides, avant la pollinisation manuelle. De plus, les pluies simulées dont le pH était inférieur à 3,6 ont provoqué une baisse marquée de la réceptivité des stigmates par comparaison aux pluies dont le pH était de 5,6. Dans ce cas, les DL_{50} (c'est-à-dire le pH des pluies simulées) étaient respectivement de 3,45 et de 4,66 pour l'inhibition de la germination de grains de pollen potentiellement viables ou la production de tubes polliniques trois fois plus longs que les grains. L'auteur examine ces résultats à la lumière des données sur la composition chimique des pluies dans le sud de l'Ontario, au Canada.

41. Cox, R.M. 1985a. Contamination and effects of cadmium in native plants. Pages 101-109 *in* H. Mislin et O. Rovera, eds., Cadmium -- A Complex Environmental Problem. Birkhauser Verlag, Basel, Switzerland. (SCF-M)

L'auteur récapitule les effets du cadmium sur les plantes indigènes. Il traite des concentrations de fond, de la bio-accumulation et de la surveillance biologique, de la physiologie et de la toxicologie du cadmium, des processus de reproduction et de la tolérance.

42. Cox, R.M. 1985b. The response of plant reproductive processes to air pollution. Pages 155-170 *in* T.C. Hutchinson, ed., Proc. NATO Adv. Res. Workshop on Effects of Acidic Deposition and Air Pollutants on Forest, Wetlands and Agricultural Ecosystems, Toronto, Ont. Springer-Verlag, New York, NY. (SCF-M)

L'auteur récapitule les effets des polluants atmosphériques transportés à longue distance sur les processus de reproduction des plantes ainsi que leur importance effective. Il décrit des expériences in vitro et in vivo au sujet des effets de la pluie contenant des polluants acides et des oligo-éléments sur la germination du pollen et la croissance des tubes polliniques. Il établit un rapport entre la vulnérabilité du pollen au pH au cours des essais in vitro et l'étage où se trouve l'espèce dans le couvert forestier, son groupe (conifère ou feuillu), et l'habitat normal de l'espèce, c'est-à-dire la forêt boréale ou calcicole. Le pH mesuré récemment dans l'échantillonnage quotidien des pluies de l'Est canadien inhibe notablement la germination et la croissance des tubes polliniques de la plupart des grains de pollen étudiés. L'auteur aborde les effets conjugués in vitro des oligo-éléments et du pH sur le comportement du pollen du point de vue de la stimulation cationique et des interactions synergiques. Il compare les effets inhibiteurs in vivo de pluies acides simulées sur les grains de pollen des onagres (*Oenothera parviflora*) à des effets inhibiteurs similaires provoqués par une exposition au SO_2 qui a entravé l'épiaison chez certaines espèces. Il examine certaines conséquences de la mortalité des grains de pollen due à la pollution atmosphérique pendant la pollinisation en tenant compte d'un certain degré de chevauchement de la séquence génétique exprimant la tolérance du pollen et de la plante aux polluants.

43. Cox, R.M. 1985c. In vitro and in vivo effects of acidity and trace elements on pollen function. Pages 93-100 *in* D.L. Mulcahy G.B. Mulcahy and E. Ottariano, eds., Biotechnology and Biology of Pollen. Springer-Verlag, New York, NY. (SCF-M)

On sait que la maturation et la viabilité du pollen figurent parmi les indicateurs végétaux les plus sensibles de la pollution atmosphérique. L'auteur a échantillonné le pollen de douze différentes espèces végétales de divers habitats de l'Est canadien, et

a mesuré leur réaction au pH en cultures sur gouttelettes de 50 µL. Tous les grains de pollen essayés ont indiqué un seuil de réponse s'inscrivant dans la plage de pH normalement observée dans les précipitations de l'Est canadien. Il a observé que le pollen des feuillus exposés directement aux précipitations est le plus sensible au pH. Vient ensuite le pollen des espèces poussant dans les étages inférieurs et au sol; le pollen le moins sensible provient des conifères; dans ce groupe, la DL_{50} est notablement inférieure à ce qu'elle est dans les feuillus. L'auteur a étudié les effets composés du Cu et du pH sur la germination des grains de pollen en mesurant le pH de la DL_{50}. Les variations de la réaction des grains de pollen indiquent que la sensibilité de certaines espèces au pH est modifiée par la teneur en cuivre actuelle des précipitations. L'auteur a effectué des simulations de périodes de précipitation de 0,26 cm à différents pH, sur des stigmates d'*Oenothera parviflora* afin d'en mesurer la réceptivité, dont il a observé une baisse notable. La sélection, à la surface des stigmates, des grains de pollen selon leur génotype, par l'action directe de la pollution atmosphérique, modifierait les fréquences génotypiques des grains de pollen donnant la génération suivante.

44. Cox, R.M. 1987a. The effects of wet deposited acidity and copper on the reproductive biology of *Populus tremuloides*. Pages 141-150 *in* L. Kairiukstis, S. Nilsson and A. Straszak, eds., Proc. Workshop on Forest Decline and Reproduction : Regional and Global Consequences, 23-28 March, Int. Inst. Appl. Syst. Anal., Pol. Acad. Sci., Int. Union For. Res. Org., Kraków, Poland. (SCF-M)

La pollution atmosphérique peut affecter les mécanismes délicats de la reproduction des plantes au moment de la pollinisation. On a montré que la plupart des grains de pollen sont inhibés par le pH acide des précipitations. L'auteur choisit la reproduction du *Populus tremuloides* pour montrer comment les polluants contenus dans les précipitations peuvent avoir un effet synergique sur la physiologie du pollen in vitro ainsi qu'à la surface des stigmates. En outre, l'auteur établit une relation entre la baisse de réceptivité des stigmates attribuable aux diverses précipitations acides simulées au moment de la pollinisation et le taux d'avortement des fruits, ainsi qu'avec l'épiaison chez cette espèce.

L'auteur envisage les conséquences, pour l'adaptation de la descendance du *Populus tremuloides*, de l'action directe de la pollution atmosphérique sur la physiologie et la viabilité du pollen au moment de la pollinisation.

45. Cox, R.M. 1987b. Natural variation in sensitivity of reproductive processes in some boreal forest trees to acidity. *In* Proc. Genetic Effects of Air Pollution in Forest Populations. IUFRO Joint Meeting at Federal Research Centre for Forestry and Forest Products and Institute of Forests Genetics and Forest Tree Breeding, Grosshandorf, West Germany. (SCF-M)

La pollution atmosphérique peut exercer des effets directs sur la pollinisation, et donc sur la reproduction végétale; la germination du pollen et l'allongement subséquent du tube pollinique comptent parmi les indicateurs les plus sensibles de la pollution. L'auteur examine les variations intraspécifiques de la sensibilité au pH du pollen de deux feuillus, le bouleau jaune (*Betula alleghaniensis* Britton) et le bouleau à papier (*B. papyrifera* Marsh.), ainsi que de deux résineux, le pin blanc (*Pinus strobus* L.) et le pin rouge (*Pinus resinosa* Ait.). Il s'est également efforcé d'élucider le milieu stigmatique de la gouttelette du micropyle chez le pin blanc, et d'établir une relation entre l'acidité de ce milieu et le pH du sol, et les réactions de ce même milieu, chez les espèces ci-dessus, à leurs propres grains de pollen. Il a montré que les grains de pollen du bouleau à papier sont aussi vulnérables au pH acide que ceux du bouleau

jaune, et même plus pour le bouleau à papier de certaines provenances : il a ainsi observé une DL_{50} à un pH de 3,9. La variabilité de ces caractères selon la provenance était plus grande pour le bouleau à papier que pour le bouleau jaune; cependant, l'auteur n'a pas observé de différence significative au seuil de probabilité de 0,05. L'accroissement notable de la sensibilité du pollen à l'acidité chez deux populations acidophile et calcicole voisines de la région de Manitoulin, en Ontario, par comparaison avec la vulnérabilité du pollen de deux populations du Nouveau-Brunswick, met en relief des différences entre les DL_{50} de ces pollens. L'avantage germinatif apparent du pollen provenant d'arbres acidophiles (pH de 3,6) et ce qui semble un avantage pour le pollen d'arbres calcicoles (pH > 4) fournissent les paramètres d'une sélection des gamètes. Les différences notables de l'acidité des exsudats des gouttelettes du micropyle, corrélée avec l'acidité des sols, fournissent un mécanisme de sélection des gamètes qui pourrait avoir des effets sur le processus de reproduction de cette espèce.

46. Cox, R.M. 1987c. Sensitivity of forest plant reproduction to long range transported air pollutants : in vitro sensitivity of pollen to combinations of acidity and trace metals. *In* Proc. NATO Adv. Res. Workshop on Effects of Acidic Deposition and Air Pollutants on Forest, Wetlands and Agricultural Ecosystems, Toronto, Ont., May 1985. (SCF-M)

L'auteur décrit les effets in vitro des pluies polluées par des acides et des oligo-éléments sur la germination du pollen et la croissance du tube pollinique. Il corrèle la vulnérabilité in vitro du pollen avec l'étage atteint par l'espèce dans le couvert forestier; celle du pollen des conifères diffère de celle du pollen des feuillus. Il a observé une inhibition notable de la germination de la plupart des pollens soumis aux essais, ainsi que de la germination et de l'allongement du tube pollinique en fonction de différents pH mesurés dans des échantillons de pluies prélevés récemment dans l'est du Canada. In vitro, le pollen d'*Acer saccharum* Marsh. et de *Betula alleghaniensis* Britt. se révèle très sensible au pH associé à la présence de cuivre. L'auteur montre que le pollen de *Populus tremuloides* L. est très sensible au pH, et qu'il se produit une action synergique du pH et des traces de cuivre sur la physiologie du pollen de cette espèce, contrairement à l'action généralement antagoniste du pH et du cuivre observée sur les espèces où le cuivre seul est sans action, ou a un effet stimulant sur la vitalité du pollen. Le zinc n'a que peu ou pas d'effet, alors qu'aux concentrations utilisées, le plomb inhibe notablement la germination du pollen de *Pinus strobus* L. à des pH compris entre 5,6 et 3,6 et réduit la croissance maximale du tube pollinique chez *P. strobus* et *Pinus resinosa* Ait. L'accroissement de la mortalité du pollen causé par la pollution atmosphérique au moment de la pollinisation évoque ses conséquences pour le processus de reproduction. L'auteur décrit ces conséquences à la lumière de l'important chevauchement des séquences de nucléotides du pollen et des sporophytes chez les plantes supérieures.

47. Cox, R.M. 1987d. Sensitivity of forest plant reproduction to long range transported air pollutants : the effects of wet deposited acidity and copper on reproduction of *Populus tremuloides*. Poster at Workshop on Forest Decline and Reproduction : Regional and Global Consequences, 23-28 March, Int. Inst. Appl. Syst. Anal., Pol. Acad. Sci., Int. Union for. Res. Org., Kraków, Poland. (SCF-M)

Peu d'études, s'il en est, ont porté d'une part sur l'examen de la germination du pollen in vivo après simulation d'une pluie polluée par les acides et le cuivre, et d'autre part sur la relation entre la germination et différents paramètres de la nouaison et de l'épiaison. Le lecteur trouvera ici la description des techniques d'étude des inflorescences d'un arbre pollinisé par le vent, *Populus tremuloides*. La

réaction des différents composants du mécanisme de reproduction aux pluies simulées a permis de mettre en évidence *in vivo* une réaction globale significative ($P < 0,05$) des mécanismes de la germination du pollen au pH. L'ensemble des données recueillies sur la germination montre une corrélation négative significative ($P < 0,05$) avec le pH. Cependant, en l'absence de cuivre, l'auteur n'a pas observé de corrélation linéaire à cause d'un rétablissement des mécanismes au pH le plus faible (2,6). Il montre que la pluie au moment de la pollinisation entraîne une augmentation notable du taux d'avortement des fruits. En outre, il existe une corrélation négative d'ensemble entre l'avortement des fruits et le pH. Cependant, en l'absence de cuivre, il se produit moins d'avortements des fruits au pH le plus faible (2,6). Le nombre de semences par fruit ainsi que le pourcentage de placentas contenant des semences pleines sont notablement réduits à un pH de 2,6 en présence de 0,05 mg de $Cu.L^{-1}$, par comparaison avec le groupe témoin. En outre, l'auteur a établi une intercorrélation significative ($P < 0,01$) entre ces deux paramètres et les avortements de fruits; ce qui pourrait indiquer que l'absence d'épiaison est la cause des avortements. La corrélation significative entre la germination in vivo du pollen ainsi que l'avortement des fruits, et le pH, notamment en présence de cuivre, vient étayer l'hypothèse selon laquelle l'inhibition du pollen par une simulation de pluie sur le stigmate empêche l'épiaison au-delà du seuil à partir duquel l'avortement est évité.

48. Cox, R.M. 1988. Sensitivity of forest plant reproduction to acid rain. *In* P.J. Rennie and G. Robitaille, directeurs de publication, Effets des précipitations acides sur les ressources forestières. Compte rendu du symp. tenu à Québec, 1983 (sous presse). (SCF-M)

L'auteur analyse les effets du transport à distance des polluants atmosphériques sur les mécanismes de la reproduction des arbres et des plantes forestières. Il décrit certains effets de l'ozone et du dioxyde de soufre contenus dans les retombées acides ou en combinaison avec celles-ci. Il décrit aussi des expériences in vitro et in vivo sur les effets des oligo-éléments et des acides polluant les précipitations sur le pollen, et établit un rapport entre la vulnérabilité in vitro du pollen au pH et l'étage du couvert atteint par la plante considérée, son taxon et, dans un cas, la nature du sol où pousse la plante échantillonnée. L'auteur a constaté que les grains de pollen essayés montrent, dans la plupart des cas, un seuil de réaction au pH qui est dépassé par le pH mesuré dans l'échantillonnage quotidien des pluies dans un emplacement rural du sud de l'Ontario. Les effets in vitro du pH associé à la présence de cadmium et d'aluminium sur la stimulation cationique du pollen et sur les interactions synergiques avec le pH sont décrites. L'auteur compare l'inhibition in vivo du stade pollinique chez l'*Oenothera parviflora* par des pluies acides simulées à une inhibition semblable obtenue par une exposition au gaz sulfureux qui a réduit l'épiaison chez certaines espèces. Étant donné certains indices de corrélations entre la tolérance aux pluies acides des grains de pollen et de leurs sporophytes, l'auteur montre les effets possibles d'une sélection par les facteurs de pollution des génotypes polliniques à la surface des stigmates, poussant ainsi à l'adaptation des prochaines générations de cette plante.

49. Dendron Resources Surveys Ltd. 1985. Impact of acid rain on forest growth in Canada. Phase I Report, prepared for Can. For. Serv., Maritimes For. Res. Cent., Fredericton, N.B. (SCF-AC, SCF-M)

En 1984, ces consultants ont concentré leur attention sur le rapport entre charge en polluants et largeur des cernes. Les données proviennent de régions non polluées et des alentours d'une usine de frittage du fer à Wawa et de la fonderie de

Creek Mines au nord de Timmins. On a prélevé et analysé les carottes dendrochronologiques de plus de 700 épinettes blanches, pins gris et sapins baumiers.

On visait surtout à établir un rapport entre croissance et pollution, à élaborer des méthodes de mesure des effets de la pollution atmosphérique transportée à grande distance.

50. Dendron Resources Surveys Ltd. 1986. Impact of acid rain on forest growth in Canada. Phase II Report, prepared for Can. For. Serv., Maritimes For. Res. Cent., Fredericton, N.B. (SCF-AC, SCF-M)

En 1985, les consultants ont précisé les méthodes élaborées au cours de la phase I et les ont appliquées dans le cadre d'un relevé allant de l'ouest du Québec jusqu'à Rimouski. Dix-huit placettes d'échantillonnage ont été désignées en groupes de trois à proximité des placettes du DNARPA, et des carottes dendrochronologiques ont été prélevées sur environ 800 érables à sucre, épinettes blanches et épinettes rouges.

On a observé un ralentissement général de la croissance de ces arbres depuis 1950-1960. Cependant, au début du siècle, on avait aussi observé de telles périodes de ralentissement notable de la croissance sans qu'on puisse en trouver l'explication.

51. Dendron Resources Surveys Ltd. 1987. Impact of acid rain on forest growth in Canada. Phase III Report, prepared for Can. For. Serv., Maritimes For. Res. Cent., Fredericton, N.B. (SCF-AC, SCF-M)

Les consultants ont analysé les tendances générales de la croissance des arbres à partir des données dendrochronologiques tirées de 2 500 arbres. Ils soulignent une observation très importante : le faible taux d'accroissement des arbres au début du siècle. Il a été très bas de 1900 à 1920, a crû alors pour atteindre un maximum entre 1930 et 1960, et a décliné rapidement ensuite. Les taux actuels d'accroissement sont en général aussi élevés ou plus élevés qu'au début du siècle.

L'évolution du climat, les pullulements d'insectes, l'âge des arbres et le développement des peuplements en sont des facteurs cruciaux; quant à la pollution atmosphérique, elle agit certainement dans le cadre d'interactions complexes avec d'autres facteurs.

52. Dignard, N. 1986. Inventaire floristique des parcelles d'études et observation sur la végétation. Contrat de recherches du SCF. 40 p. (CFL)

L'auteur a effectué un relevé floristique de placettes d'échantillonnage selon la méthode Braun-Blanquet (1932) retouchée par Payette et Gauthier (1972). Il a calculé en pourcentage le couvert de chaque étage et a coté chaque espèce présente en fonction de son coefficient d'abondance, de sa dominance et de son associativité.

Il se peut que les observations portant sur l'état de la végétation supérieure ne soient pas entièrement valides, car le relevé a été fait tard en saison (début septembre). L'auteur a observé des lésions, des gales et des dommages sur les aiguilles des sapins, causés par un certain type de mineuse tant à l'intérieur qu'à l'extérieur des placettes d'échantillonnage. Ces symptômes ne semblent pas être en rapport avec les traitements effectués. Cependant, il est possible de formuler certaines remarques sur l'état général des plantes vasculaires, notamment des plantes ligneuses. Il faut également noter que la présence de plantes héliophiles découle de

l'existence, à des périodes diverses, de terrains découverts dans le peuplement, ou résulte de l'établissement des placettes d'échantillonnage.

Selon l'auteur, les seules observations pertinentes sur l'effet des différents traitements sont celles qui portent sur l'étage des bryophytes. De fait, c'est cet étage qui semble avoir subi le plus de dommages.

Les placettes 1, 2, 3, 4 et 6 ont été exclues du relevé parce qu'elles avaient été partiellement détruites par l'enlèvement des semis de sapin et par la présence de branchages enfouis de bouleau jaune. Par conséquent, il était impossible d'évaluer le pourcentage du couvert, les coefficients d'abondance et de dominance ou l'état de la végétation.

L'auteur a identifié les plantes vasculaires et les lichens. Les bryophytes ont été identifiées par MM. Pierre Masson et Guildo Lavoie de l'herbarium du ministère de l'Énergie et des Ressources.

Comme l'auteur l'a dit, les symptômes observés sur les plantes vasculaires sont probablement sans rapport avec le traitement. Les seules observations pertinentes sont celles qui portent sur l'état des bryophytes. Les placettes 28, 41 et 44 semblent les plus fortement touchées; les placettes 10, 13, 15, 45, 46 et 47 le sont moins; les placettes 8, 9, 17, 23, 34, 42 et 43 le sont légèrement.

53. English, M.C.; Jeffries, D.S.; Foster, N.W.; Semkin, R.G.; Hazlett, P.W. 1986. A preliminary assessment of the chemical and hydrological interaction of acidic snowmelt water with the terrestrial portion of a Canadian Shield catchment. Water Air Soil Pollut. 30:27-34. (CFGL)

Les auteurs étudient certains aspects des interactions hydrologiques et chimiques du ruissellement printanier et de la partie terrestre d'un bassin hydrologique appartenant au Bouclier canadien. Bien que le NO_3^- soit l'anion dominant dans la neige pendant la plus grande partie de l'hiver, le dépôt de SO_4^{2-} s'accroît à la fin de l'hiver (mars) au point de devenir l'anion dominant dans l'eau de la fonte des neiges hivernales. Le développement des lentilles de glace dans la neige est à l'origine du déplacement des ions H^+, NO_3^- et SO_4^{2-} le long de la pente avant leur contact avec le sol. L'eau de fusion, en écoulement hypodermique dans la partie inférieure de la pente, est beaucoup plus acide (pH=5,18) que celle s'écoulant sous la surface dans le haut de la pente (pH=6,44).

54. RIMA (Relevé des insectes et des maladies des arbres). 1984. Insectes et maladies des arbres au Canada 1984. Rel. ins. mal. arbres, Serv. can. for., Ottawa. 76 p. (SCF-AC)

Ce rapport décrit les résultats initiaux obtenus par le Dispositif national d'alerte rapide pour les pluies acides. Le Programme visait à :

1. détecter les dommages éventuels causés par les pluies acides aux arbres et aux sols forestiers ou identifier les dommages subis par les sols et les arbres forestiers du Canada non attribuables à des causes naturelles ou à des méthodes de gestion;

2. assurer une surveillance à long terme de la végétation et des sols afin de détecter les changements éventuels qui seraient attribuables aux retombées

acides et à d'autres polluants atmosphériques dans des écosystèmes forestiers représentatifs.

On a désigné des placettes permanentes d'observation dans toutes les régions du Canada, afin de surveiller les facteurs suivants :

1. l'état des peuplements forestiers et ses modifications;
2. l'existence de facteurs biotiques et abiotiques déterminant l'état des forêts (insectes, maladies, évolution des peuplements, température, etc.) ainsi que leurs fluctuations;

3. les changements ainsi que les symptômes révélateurs de facteurs autres que les causes qui précèdent, et qui pourraient éventuellement être des indicateurs précoces de dommages dus aux pluies acides;

4. les effets des pluies acides sur l'état des différentes espèces d'arbres d'importance économique.

55. RIMA (Relevé des insectes et des maladies des arbres). 1985. Insectes et maladies des arbres au Canada 1985. Rel. ins. mal. arbres, Serv. can. for., Ottawa. 107 p. (SCF-AC)

Ce rapport décrit les résultats obtenus lors de la deuxième année d'échantillonnage dans le cadre du Dispositif national d'alerte rapide pour les pluies acides. On y décrit les observations faites dans différentes placettes d'un bout à l'autre du pays. Il faut noter la détérioration des bouleaux dans la région de la baie de Fundy, au Nouveau-Brunswick.

56. RIMA (Relevé des insectes et des maladies des arbres). 1986. Insectes et maladies des arbres au Canada 1986. Rel. ins. mal. arbres, Serv. can. for., Ottawa. (SCF-AC)

Ce rapport décrit les perfectionnements apportés au Dispositif national d'alerte rapide pour les pluies acides. Plusieurs nouvelles placettes ont été équipées en Ontario et dans les provinces de l'Ouest en 1986, et on a examiné à nouveau l'état des 104 autres placettes. Le Rapport décrit en détail le dépérissement de l'érable au Québec et celui du bouleau dans la région de la baie de Fundy.

57. Fortin, J.A. 1986. Étude bibliographique des principaux facteurs impliqués dans le dépérissement des forêts en Europe, aux États-Unis et au Québec. Contrat de recherches du SCF. 44 p. (CFL)

Après la dégradation de nombreuses forêts européennes, le dépérissement des forêts d'Amérique du Nord a commencé. Comme elle nous apparaît maintenant, la détérioration des forêts suit un processus maladif complexe qui, par l'affaiblissement progressif des arbres, conduit à la détérioration et à la perte de leur feuillage, au ralentissement de leur croissance et à leur vulnérabilité accrue aux stress secondaires.

Il existe trois catégories de facteurs causant cette détérioration : prédisposants, instigateurs et accessoires. On les a regroupés en paramètres physiques (facteurs climatiques, édaphiques et anthropiques), chimiques (polluants atmosphériques) et biologiques (insectes défoliateurs, moisissures). Les facteurs

physiques ne suffisent pas à expliquer les dommages toujours croissants qu'on observe présentement. Les facteurs chimiques, représentés par les polluants atmosphériques tels le dioxyde de soufre, les oxydes d'azote et l'ozone, sont toujours présents en mélanges que leur synergie rend plus toxiques que la simple addition de leurs effets séparés. Les facteurs biologiques ont un rôle secondaire uniquement : on peut considérer la défoliation comme un processus naturel de la vie d'un arbre et la propagation de certains types de moisissures plutôt comme le résultat de la détérioration avancée des arbres atteints.

Les érablières du Québec sont parfois situées dans des terrains peu propices, mais se trouvent aussi dans les régions les plus polluées de la province. Lorsqu'on considère ses causes les plus probables, la détérioration des forêts semble être le résultat d'un ensemble de facteurs conjugués qui perturbent l'équilibre de tout l'écosystème forestier. La réaction de l'écosystème diffère selon sa résistance sur les plans génétique, physiologique et édaphique (les sols). Cependant, lorsque le stress exercé par le milieu perdure, la forêt finit par mourir. Une fois enclenché, le processus du dépérissement se généralise et s'intensifie rapidement.

Le dépérissement ne semble pas encore avoir atteint les forêts de conifères du Québec et nui à leur productivité. Cependant, la situation observée en Europe et aux États-Unis, qui a pris des allures catastrophiques au cours des 25 dernières années, indique que les symptômes de ce dépérissement pourraient bientôt apparaître.

Il est donc indispensable de poursuivre les études et de procéder à des simulations en vue de déceler rapidement toute perte, même minime, de rendement ou de qualité de nos forêts et mieux, pour permettre de remédier à la situation.

58. Foster, N.W. 1985a. Acid precipitation and soil solution chemistry within a maple birch forest in Canada. For. Ecol. Manage. 12:215-231. (CFGL)

L'auteur a comparé les concentrations ioniques observées dans une eau prélevée dans une forêt de feuillus du bassin hydrographique des lacs Turkey en Ontario (47°03'N de latitude, 84°15'O de longitude) à celles observées dans les précipitations au-dessus de ce bassin hydrographique et d'autres régions de l'est du Canada. Il a calculé la concentration moyenne annuelle en Ca^{2+}, Mg^{2+}, K^{+}, Na^{+}, H^{+}, NH_4^{+}, NO_3^{-}, SO_4^{2-}, Cl^{-} et HCO_3^{-}, dans les précipitations, dans l'eau de pénétration des frondaisons, dans l'eau de percolation de la couverture morte et dans les solutions des sols minéraux, ainsi que les flux annuels de H^{+}, de NO_3^{-}, de SO_4^{2-} et des cations basiques. L'apport annuel par les précipitations globales correspondait à 85 % et 45 %, respectivement, de l'apport en ces cations à la couverture morte. L'apport annuel de H^{+} dans l'eau de pénétration des frondaisons était inférieur à celui des précipitations directes. La concentration en Ca^{2+} et en Mg^{2+} dans la solution du sol était en très forte corrélation (P=0,05) avec le NO_3^{-} durant le repos hivernal, et la concentration en Ca^{2+} était en forte corrélation avec celle du SO_4^{2-} durant la période végétative. Le SO_4^{2-} ainsi que le NO_3^{-} sont largement inertes en présence des minéraux contenus dans le sol des lacs Turkey; c'est pourquoi ils prennent un rôle dominant dans les déplacements des cations dans le sol.

59. Foster, N.W. 1985b. Neutralization of acid precipitation within a maple-birch ecosystem. TAPPI J. 68:104-106. (CFGL)

L'auteur a étudié l'influence des précipitations acides sur la composition ionique de l'eau de pénétration des frondaisons, de l'eau de percolation de la couverture morte et des solutions minérales des sols au cours d'une période de 12 mois dans une

forêt d'érables à sucre et de bouleaux jaunes du bassin hydrographique des lacs Turkey, près de Sault Ste. Marie, en Ontario. À partir d'un pH pondéré en volume de 4,4, l'acidité des précipitations s'est trouvée réduite de 50 % par contact avec le couvert de la forêt. Les acides qui pénètrent jusqu'au sol minéral sont largement neutralisés dans les horizons superficiels, riches en bases, et ne franchissent pas le sol acide pour atteindre la nappe phréatique ou les eaux courantes. Le déplacement des cations basiques qui étaient fixés aux matériaux du sol est associé à sa neutralisation. Les bases se combinent aux anions d'acides forts provenant de l'atmosphère et du sol et sont entraînées par les eaux courantes. On ignore l'effet de ces pertes en éléments fertilisants sur la productivité forestière.

60. Foster, N.W.; Morrison, I.K. 1983a. Soil fertility, fertilization and growth of Canadian forests. Serv. can. for. Inf. Rep. O-X-353. (CFGL)

La fertilisation des placettes expérimentales a fourni aux auteurs les meilleures bases pour évaluer la capacité d'un sol à satisfaire les besoins des arbres en éléments fertilisants. Les résultats des essais effectués dans des forêts à maturité, au Canada et dans des massifs contigus aux États-Unis, corroborent l'hypothèse selon laquelle une carence en N limite généralement la croissance de certains conifères, notamment dans les terrains secs. On n'a observé qu'occasionnellement les réactions des résineux à l'apport de P ou K; par exemple, le pin rouge (*Pinus resinosa* Ait.) sur des sables fluviaux-glaciaires abandonnés par la culture a produit de 25 à 80 $m^3.ha^{-1}$ supplémentaires de cinq à dix ans après l'application de K. Chez beaucoup d'espèces, on obtient un gain de croissance lorsque du P ou du K est ajouté au N mais, en général, la réaction obtenue n'est pas notablement plus forte que celle obtenue avec le N seulement.

En moyenne, l'addition d'urée (224 kg de $N.ha^{-1}$) dans des peuplements naturels a entraîné une production supplémentaire de 15,6 m^3ha^{-1} de bois en 4 ans chez le Douglas taxifolié (*Pseudotsuga menziesii* [Mirb.] Franco) et de 8,5 $m^3.ha^{-1}$ en 5 ans chez le pin gris (*Pinus banksiana* Lamb.). On a observé, dans les forêts de pin gris et de sapin de Douglas, l'existence de relations inverses entre l'indice de station et la réaction au N; c'est dans les terrains les plus pauvres que se produit la plus forte accélération de la croissance. La réponse moyenne pondérée sur cinq ans des espèces ci-dessus est inférieure à celle du sapin baumier (*Abies balsamea* [L.] Mill.), de l'épinette rouge (*Picea rubens* Sarg.), de l'épinette blanche (*P. glauca* [Moench] Voss) et de l'épinette noire (*P. mariana* [Mill.] B.S.P.) (soit 7,1, 4,6, 4,5 et 2,2 $m^3.ha^{-1}$, respectivement).

Les auteurs envisagent l'utilisation du diagnostic foliaire et de l'analyse chimique des sols afin de déterminer quels sont les peuplements qui répondraient à la fertilisation.

61. Foster, N.W.; Morrison, I.K. 1983b. Nutrient recycling with respect to whole-tree harvesting in natural stands. Pages 60-65 *in* D. Robertson, coord., Proc. 6th Int. FPRS Industrial Wood Energy Forum. For. Prod. Res. Soc., Madison, WI. (CFGL)

L'utilisation plus complète de la biomasse par les exploitants forestiers conduit à une extraction plus forte qu'avant des éléments fertilisants contenus dans le sol forestier. Les auteurs étudiant le cas d'une forêt boréale de pin gris presque à maturité, comparent les quantités d'éléments fertilisants exportés sous forme de grumes, de troncs et ramure et de totalité de l'arbre. Ils examinent également l'effet de différents taux d'exploitation sur la productivité potentielle des forêts. Ainsi ont-ils pu calculer la teneur en azote et la biomasse aérienne et souterraine des

peuplements grâce à des courbes de régression fondées sur l'analyse des tiges et la teneur en éléments fertilisants d'un échantillon représentatif d'arbres. Ils mesurent la teneur du sol en carbone et en azote ainsi que le cycle d'échange de ces éléments fertilisants entre peuplement et sol, et ils calculent les réactions du peuplement à l'apport de différentes doses d'engrais azoté. Ils montrent ainsi que l'azote joue un rôle crucial dans la productivité de cette forêt. Il faudrait gérer les peuplements de pins sur sol peu fertile de façon à économiser les réserves d'azote et de carbone. Le coût de remplacement des éléments fertilisants exportés lors de la récolte des arbres doit figurer dans toute stratégie de gestion forestière.

62. Foster, N.W.; Morrison, I.K.; Nicolson, J.A. 1983. Acid precipitation-forest ecosystem studies at Turkey Lakes Watershed. For. Res. Newsl., Summer Issue, GLFRC, Sault Ste. Marie, Ont. 8 p. (CFGL)

Les forêts d'érables à bouleaux du bassin hydrographique des lacs Turkey reçoivent actuellement des retombées modérément acides. À leur niveau actuel, des apports de substances polluantes ne peuvent pas nuire directement à la croissance des arbres. D'après leurs recherches préliminaires, les chercheurs ont conclu que : 1) dans ce bassin-versant, le potentiel en azote des sols est élevé et l'apport d'azote atmosphérique ne pourrait guère stimuler la croissance des feuillus; 2) aux rythmes actuels, le lessivage des éléments fertilisants ne risque guère, à court terme, de conduire à un épuisement des cations basiques dans l'horizon racinaire.

Il n'est pas encore possible de savoir si les précipitations acides vont causer des modifications durables du cycle nutritionnel des forêts, et ainsi influencer indirectement leur productivité. Il semble que c'est l'apport en sulfates qui causerait les modifications les plus sérieuses, à long terme, du cycle nutritionnel, en raison du faible taux d'adsorption des sulfates par les sols podzoliques du bassin hydrographique. On sait que les pertes de bases vont croître à mesure de l'acidification des solutions du sol, mais on ne peut encore en prévoir le rythme.

63. Foster, N.W.; Morrison, I.K.; Nicolson, J.A. 1986. Acid deposition and ion leaching from a podzolic soil under hardwood forest. Water Air Soil Pollut. 31:879-890. (CFGL)

En 1983, les auteurs ont étudié la contribution des acides d'origine atmosphérique au lessivage des cations du sol podzolique d'une forêt d'érables et bouleaux à maturité, du centre de l'Ontario. Le déplacement des cations basiques dépend fortement des NO_3^- et SO_4^{2-} et des anions d'acides organiques présents dans les horizons superficiels du sol, le SO_4^{2-} et le NO_3^- agissant sous l'horizon racinaire efficace et le SO_4^{2-} et le HCO_3^- dans l'eau de percolation. Les horizons des sols minéraux n'adsorbent que peu de SO_4^{2-} supplémentaire ou ses cations combinés aux concentrations actuelles de SO_4^{2-} dans la solution du sol. Les auteurs en concluent que le sol in situ n'a pas de forte affinité pour le SO_4^{2-}. Les présents apports annuels de SO_4^{2-} et de NO_3^- à la forêt par les précipitations globales actuelles (26,4 et 18,2 $kg.ha^{-1}$, ce qui équivaut à 8,8 kg S et 4,1 kg $N.ha^{-1}$, respectivement) ont fortement contribué au lessivage des cations du sol. Pour maintenir les concentrations actuelles du sol en cations échangeables, il faudrait que la météorisation se fasse au rythme de 29,6, 5,0, 4,2 et 2,2 $kg.ha^{-1}.an^{-1}$ de Ca^{2+}, Na^+, Mg^{2+} et K^+, respectivement.

64. Foster, N.W.; Nicolson, J.A. 1983a. Acid precipitation and vegetation interaction in the Turkey Lake Forest Watershed. Can. For. Serv. Res. Notes 3:6-7. (CFGL)

La crainte générale au sujet des effets nuisibles des pluies acides sur les forêts et les eaux courantes ont conduit à de nouvelles recherches sur la transformation qualitative des précipitations par les forêts et les sols. Les auteurs font ici une évaluation provisoire des premiers résultats de leurs recherches sur les cycles biogéochimiques des éléments dans une forêt d'érables à sucre (*Acer saccharum* Marsh.) et de bouleaux jaunes (*Betula alleghaniensis* Britton) et l'ont présentée à la Conférence sur les recherches dans les Grands Lacs en 1982. Ces travaux s'inscrivent dans le cadre du programme du Service canadien des forêts portant sur l'influence des précipitations acides sur les cycles nutritionnels dans trois bassins hydrographiques boisés, notamment dans le parc national de Kejimkujik, N.-É., dans la forêt de Montmorency, au Québec et dans la forêt du lac Turkey, en Ontario.

65. Foster, N.W.; Nicolson, J.A. 1985. Acid precipitation and water quality within a tolerant hardwood stand and soil. Pages 337-342 *in* Présentations et articles au Congr. int. de la gest. des ress. forest. : influence des politiques et des lois, 7 août 1984, Québec. (CFGL)

Afin de vérifier si les précipitations acides pouvaient accentuer le lessivage des cations fixés dans les tissus végétaux et dans le sol, les auteurs ont examiné les caractéristiques des sols et les flux ioniques au sein d'un écosystème forestier de feuillus d'ombre, situé dans le bassin-versant du lac Turkey en Ontario. Dans ce bassin les précipitations globales ont déposé en 1982 : 25,5, 20,4 et 0,5 $kg.ha^{-1}$ de SO_4^{2-}, de NO_3^- et de H^+, respectivement. L'hydrogène a été retenu en grande partie dans l'écosystème terrestre et n'a pas atteint les eaux courantes. Les précipitations ont extrait les cations basiques du couvert forestier et des horizons minéraux superficiels. Le lessivage des cations basiques fait intervenir une gamme d'anions (acides organiques, SO_4^{2-}, NO_3^- et HCO_3^-) de la couverture morte forestière et des horizons minéraux superficiels; notamment le SO_4^{2-} agit à la limite inférieure de l'horizon racinaire, comme dans le sous-sol et la couche phréatique, avec le HCO_3^- ici. L'extraction des cations dans le sous-sol par le météorisme géochimique est largement responsable de la présence de cations basiques dans les eaux courantes. La teneur des 50 cm de l'horizon superficiel en cations basiques échangeables atteignait le centuple de la quantité de cations basiques lessivables annuellement par les retombées atmosphériques de SO_4^{2-}. Au niveau actuel de pollution, les précipitations acides ne risquent guère de réduire la teneur du sol en cations basiques.

66. Foster, N.W.; Nicolson, J.A. 1986. Trace elements in the hydrologic cycle of a tolerant hardwood forest ecosystem. Water Air Soil Pollut. 31:501-508. (CFGL)

Les auteurs ont mesuré, en 1983, la concentration et les flux annuels de Fe, Al, Mn, Cu et Pb dans les précipitations globales, les eaux de pénétration par les frondaisons, le ruissellement sur écorce, l'eau de percolation dans la couverture morte, les solutions du sol minéral sous la zone racinaire et les eaux courantes d'un peuplement d'érables à bouleaux sur sol podzolique acide du bassin-versant des lacs Turkey en Ontario. L'apport en métaux par les précipitations dans ce bassin-versant est faible en comparaison de ce qu'il est dans l'est des États-Unis et en Europe. Les auteurs ont observé une exportation considérable de Mn et de Cu, sans doute par lessivage de la végétation, tant pendant la période végétative que pendant le repos hivernal. Parmi tous les métaux apportés dans l'eau de pénétration par les frondaisons à la solution du sol, c'est l'aluminium qui était le plus abondant (7X) et le cuivre le moins abondant (1,2X). L'aluminium se trouvait solubilisé dans la couverture morte ainsi que dans le sol minéral, peut-être par le SO_4^{2-} dans ce dernier cas. Le cuivre était solubilisé dans la partie inférieure de la couverture morte ou dans le sol minéral. La teneur en Al de l'horizon superficiel était réduite par

lessivage, celle du cuivre aussi, mais dans une moindre mesure, en-dessous de la zone racinaire efficace. C'est surtout dans l'horizon F de la couverture morte que le Fe, le Mn et le Pb étaient mobilisés, fort probablement par les acides organiques. Le lessivage du Fe, du Mn et du Pb était freiné par l'accumulation des métaux dans la végétation, dans la partie inférieure de la couverture morte ou dans le sol minéral à hauteur de la zone racinaire efficace. La plupart des métaux de la zone racinaire qui étaient lessivés (de 80 à 99 %) sont restés dans le bassin-versant et n'ont pas été retrouvés dans les eaux courantes.

67. Foster, N.W.; Nicolson, J.A. 1988. Ion Transfer through a tolerant hardwood canopy, Turkey Lakes Watershed, Ontario. *In* P.J. Rennie et G. Robitaille, directeurs de publication, Effets des précipitations acides sur les ressources forestières. Compte rendu du symp. tenu à Québec, 1983 (sous presse). (CFGL)

En 1981, les auteurs ont mesuré les teneurs d'hydrogène (H), de potassium (K), de calcium (Ca), d'azote des nitrates ($N-NO_3$) et de soufre des sulfates ($S-SO_4$) dans une vieille forêt d'érables à sucre (*Acer saccharum* Marsh.) à bouleaux jaunes (*Betula alleghaniensis* Britton) et à l'extérieur, dans un sol morainique acide du bassin-versant des lacs Turkey en Ontario. Ils ont comparé les teneurs moyennes de ces éléments dans les précipitations, l'eau de pénétration par les frondaisons et le ruissellement sur écorce sur une période d'un an, d'une période végétative et d'un repos hivernal. L'eau de pénétration par les frondaisons et les précipitations étaient de compositions ioniques similaires, à l'exception du K des bases et du $S-SO_4$ au cours de la période végétative. L'eau de ruissellement sur écorce était nettement enrichie en Ca, en K et en $S-SO_4$ et appauvrie en H et en $N-NO_3$ durant la période végétative et le repos hivernal. L'eau de pénétration par les frondaisons a constitué le principal véhicule de transfert des éléments au sol; le ruissellement sur écorce n'a apporté que de 1 à 10 % du dépôt annuel total des éléments au sol. Les auteurs analysent la contribution du H au lessivage des bases fixées dans le couvert forestier par comparaison avec cette action dans d'autres forêts de feuillus d'ombre de l'est de l'Amérique du Nord, qui sont davantage soumises aux précipitations acides.

68. Foster, N.W.; Nicolson, J.A.; Morrison, I.K. 1988. Acid precipitation and element cycling in eastern North American forest ecosystems. *In* P.J. Rennie et G. Robitaille, directeurs de publication, Effets des précipitations acides sur les ressources forestières. Compte rendu du symp. tenu à Québec, 1983 (sous presse). (CFGL)

Les auteurs passent en revue les connaissances actuelles sur les rapports entre les retombées atmosphériques d'acides et de substances acidifiantes et les flux d'éléments dans les grands massifs forestiers typiques de l'est de l'Amérique du Nord. Une forêt de feuillus d'ombre à maturité établie sur un sol morainique acide et bien drainé, située dans le bassin-versant des lacs Turkey dans le nord de l'Ontario, sert de peuplement de référence. Les auteurs insistent sur le flux d'azote (N) et de soufre (S) entre les réserves de ces éléments à l'intérieur de l'écosystème, par le truchement du N et du S sous différentes formes associés à la pollution acide. Le renouvellement de l'azote (environ 45 $kg.ha^{-1}.an^{-1}$ dans l'écosystème forestier de référence est nettement supérieur au renouvellement atmosphérique du N ($7kg.ha^{-1}.an^{-1}$). Il existe donc un cycle rapide du N dans l'intérieur de cette vieille forêt de feuillus non perturbée. Dans ce bassin-versant, l'apport en S des sulfates ($S-SO_4$) est à peu près en équilibre avec ses exportations. La teneur en sulfates équivaut à 70 % de la teneur totale en cations basiques, en poids équivalent, de l'eau souterraine qui se trouve en-dessous de la zone racinaire de la forêt de référence. À leur niveau actuel, les apports atmosphériques en $S-SO_4$ contribuent largement à l'exportation

des cations basiques (potassium (K), calcium (Ca), magnésium (Mg) et sodium (Na), observée au niveau de la zone racinaire de nombreux écosystèmes de l'est du continent. La réduction de la quantité de
$S\text{-}SO_4$ atteignant les sols des forêts de l'Est permettrait sans doute une réduction de la perte de cations par ces écosystèmes.

69. Fraser, G.A.; Phillips, W.E.; Lamble, G.W.; Hogan, G.D.; Teskey, A.G. 1985. Possibilités de répercussions du transport à distance des polluants atmosphériques sur les forêts canadiennes. Serv. can. for., rapp. d'inf. E-X-36F. 46 p. (SCF-AC, CFGL)

L'effet du transport à distance des polluants atmosphériques sur les forêts est incertain. Sur le plan scientifique, la réponse définitive à cette question nécessitera de nombreux travaux de recherche étalés sur plusieurs années. D'ici là, les auteurs fournissent de nombreux éclaircissements sur les effets potentiels de cette forme de pollution. Grâce à une série de quatre questionnaires répétés, ils ont sollicité l'opinion des experts sur la nature et l'ampleur des variations de la productivité forestière et sur la probabilité d'autres incidences similaires découlant de divers modes de pollution. Leurs conclusions fournissent un tableau réaliste des dommages causés aux forêts du Canada par divers niveaux actuels et futurs de pollution.

70. Germida, J.J.; Maynard, D.G.; Addison, P.A. 1985. Effect of elemental sulfur deposition on populations of sulfur-oxidizing microorganisms in forest soils. Can. Soc. Microbiol. Annu. Meet., Halifax, N.S. (CFN)

Le soufre élémentaire est un sous-produit de l'épuration du gaz naturel acide. L'effritement et la météorisation des terrils sulfureux ont entraîné la disparition de la végétation dans certaines forêts aux alentours des usines de désulfuration du gaz. Les auteurs ont étudié les effets à long terme de la pollution par le S sur certains composants chimiques et biologiques des sols forestiers. En 1982 et en 1983, ils ont recueilli des échantillons de sol dans des placettes situées à 50, 250 et 750 m d'un terril sulfureux, et ont mesuré le S total, le $S\text{-}SO_4$, le S élémentaire et le pH, et dénombré les populations de thiobactéries qu'ils contenaient. Ils ont observé une réduction notable du pH du sol (de 4,8 à 2,5) et une augmentation de la teneur en S élémentaire (de 6 000 à 50 000 ppm), en fonction de la proximité d'un terril de S. Le gradient de concentration du S total et du $S\text{-}SO_4$ était semblable à celui du S élémentaire, sans qu'il y ait de différence significative d'une année à l'autre. Tous les sols contenaient des populations importantes de thiobactéries autotrophes 1 000 à 10 000 fois plus nombreuses que les populations des sols non pollués. Les auteurs ont également observé des micro-organismes hétérotrophes oxydant le S dans ces sols, mais cette population mixte oxydant le S en 1982 s'est transformée en une population de thiobactéries majoritairement autotrophes en 1983. Ces résultats montrent que les sols forestiers pollués par le soufre élémentaire contiennent des populations actives de thiobactéries autotrophes qui oxydent le S et qui sont donc responsables de l'acidification du sol.

71. Glass, N.R.; Glass, G.E.; Rennie, P.J. 1979. Effects of acid precipitation. Environ. Sci. Technol. 13:1350-1355. (SCF-AC)

En résumé, on a de bonnes raisons de penser que les retombées acides, notamment dans de vastes régions de l'est des États-Unis et du Canada, auront des effets nocifs sur les milieux aquatique et forestier et le système agraire. Les observations les plus récentes nous indiquent différentes voies de recherche sur l'envergure, l'ordre de grandeur et l'étendue de l'impact des précipitations acides sur les ressources.

L'effet cumulatif des précipitations acides est connu. Environnement Canada et l'Environmental Protection Agency des É.-U. ont réuni des spécialistes de différentes disciplines et administrations pour entreprendre une action concertée en ce domaine. On a lancé des études sur les grandes sources ponctuelles de polluants, en utilisant des méthodes intéressantes. Ce sont notamment l'utilisation des lichens bio-indicateurs de pollution, des tests biochimiques d'alerte avant l'apparition de symptômes visibles de pollution dans les tissus d'arbres ou d'autres végétaux, l'étude des différents modes de dépôt des polluants sur le sol, ainsi que la délimitation des sols, des forêts et des plans d'eau fragiles.

72. Glass, N.R.; Glass, G.E.; Rennie, P.J. 1980. Effects of acid precipitation in North America. Environ. Int. 4:443-452. (SCF-AC)

Des données recueillies récemment montrent que les pluies acides progressent et constituent un phénomène écologique aux incidences potentielles considérables pour un territoire de plus en plus étendu en Amérique du Nord. Les pluies acides constituent un des aspects du problème plus vaste des retombées atmosphériques, qui comprennent aussi la neige, le brouillard et le dépôt sec de polluants. Décelées et étudiées pour la première fois en Scandinavie, les précipitations acides sont maintenant bien connues aux États-Unis; les premières observations ont été faites dans le Nord-Est, mais récemment cette forme de pollution a touché une grande partie du territoire des États-Unis à l'est du Mississippi. Le poisson a disparu de nombreux cours d'eau et lacs des régions dont les sols contiennent peu de bases faibles; ces eaux abritent une flore et une faune aquatiques réduites, dont la productivité décroît. Il semble, en outre, que les précipitations acides peuvent nuire à la croissance des forêts, aux récoltes, à la faune ainsi qu'aux immeubles, ouvrages métalliques, peintures, monuments, etc.

73. Halstead, R.L.; Rennie, P.J. 1977. The effects of sulphur on soils in Canada. Pages 181-219 *in* Sulphur and its inorganic derivatives in the Canadian environment. Comité associé des critères scientifiques de qualité de l'environnement, Conseil national de recherches du Canada, Ottawa (Ont.). Publ. n° 15015; 426 p. (SCF-AC)

Les travaux de recherches sur les effets du dioxyde de soufre sur le sol ont été peu nombreux par rapport aux travaux dont les résultats publiés concernent ses effets sur la végétation. La raison en est certainement que, dans la plupart des cas, les retombées sulfureuses sur le sol contribuent à l'apport alimentaire de soufre aux végétaux. Il est cependant certain que les retombées de dioxyde de soufre polluant le sol pendant de longues périodes accroissent son acidité et sa teneur en sulfates solubles qui fixent le calcium et les autres cations basiques, entravent l'activité des micro-organismes (en particulier celle des bactéries nitrificatrices et des fixateurs d'azote), accroissent la concentration éventuellement toxique des ions (aluminium, manganèse), réduisent les quantités d'autres nutriments (phosphore) et exportent une plus grande quantité de nutriments potentiellement néfastes vers les eaux subaériennes et la nappe phréatique. L'érosion du sol par suite de la disparition du tapis végétal constitue peut-être le risque le plus grave causé par les retombées excessives de dioxyde de soufre. Cet aspect de la question n'a pas été suffisamment envisagé par les auteurs, ni par aucun rapport de recherches pertinent. Il est évidemment nécessaire d'entreprendre des recherches à ce sujet, particulièrement en matière de pollution des rivières par les sols érodés. Nos connaissances actuelles montrent la nécessité d'entreprendre des études sur les mécanismes et les taux de météorisation des groupes de sols sous l'action de l'acide sulfurique. Il faudrait évaluer les incidences de ce processus de météorisation sur la productivité des sols à

utilisation forestière et agricole, ainsi que ses effets sur les biocénoses intéressées. Voici les thèmes précis d'un tel effort :

1) Le rôle et l'importance des micro-organismes participant au cycle pédologique du soufre (oxydation par les *Thiobacilli*); le rôle des bactéries hétérotrophes dans l'oxydation du soufre, la rétention et la mobilisation du soufre fixé dans les matières organiques et l'oxydation du soufre dans la rhizosphère.

2) Le lancement d'études in situ, en serre et en lysimètre pour mesurer la migration du soufre autochtone et allochtone et des ions qui y sont combinés dans le sol et dans les végétaux. Ces travaux permettraient d'obtenir la production optimale avec le minimum d'impact écologique. Dans les secteurs agricole et non agricole, ces données permettraient aux organismes de protection de l'environnement d'élaborer une réglementation réaliste de l'utilisation du soufre et de ses composés, et des rejets sulfureux.

74. Hargesheimer, E.E.; Apps, J.M.; Malhotra, S.S. 1980. Determination of vanadium in jack pine needles using neutron activation analysis. Environ. Tech. Lett. 1:273-282. (CFN)

Ces auteurs ont évalué les possibilités de cartographier certains genres de pollution industrielle en mesurant la teneur en vanadium des aiguilles de pin gris. Ils ont mis au point une méthode d'analyse rapide par activation neutronique pour la mesure de V, Al, Ca, Na, Mn et Cl en concentrations de l'ordre du millionième; elle fait appel au réacteur nucléaire SLOWPOKE. Les seuils de détection et de dosage du vanadium (Currie, 1968) dans 100 mg de tissu d'aiguilles broyées atteignent 0,36 ppm et 1,6 ppm, respectivement.

75. Harrington, J.B. 1987. Climatic change : a review of causes. Can. J. For. Res. 17:1113-1339. (IFNP)

Le climat du globe terrestre ne fait que fluctuer sous l'influence de plusieurs facteurs : dérive des continents, variation de l'activité solaire, volcanisme, collision des météorites et de comètes avec la Terre, modification des paramètres de l'orbite terrestre, accumulation et fusion des calottes glaciaires, variations des courants océaniques et de la composition des eaux, modification des populations terrestres et aquatiques et changements de la composition de l'atmosphère et du régime des vents. Au cours des 4,5 milliards d'années écoulées, la température moyenne à la surface de la Terre a oscillé autour de 15°C, une moyenne remarquablement stable en dépit des paramètres ci-dessus, dont certains sont très puissants, et des variations de l'intensité énergétique du soleil. Ce fait indique qu'il existe de fortes rétroactions à toute variation climatique de grande amplitude. Au cours des cent dernières années, le pouvoir de l'homme sur son environnement a énormément augmenté. À cause de ses actions, et particulièrement de l'effet de serre qui doit résulter du rejet des gaz carboniques et autres, la moyenne de la température à la surface du globe devrait s'accroître de 2,5°C d'ici le milieu du XXIe siècle. Mais ces prévisions sont incertaines, en raison de l'existence de mécanismes de réaction positive ou négative dans l'atmosphère, la lithosphère, les océans, les calottes glaciaires et la végétation, et de l'ampleur inconnue de l'activité volcanique. Jusqu'à présent, les modèles numériques les plus perfectionnés et les ordinateurs les plus rapides n'ont pas permis d'analyser toutes ces inconnues. Cependant, les meilleures observations scientifiques indiquent le retour, vers le milieu du XXIe siècle, du climat optimal d'il y a 5 000 ou 6 000 ans. La direction, la rapidité et l'ampleur du changement climatique imminent ont une probabilité suffisante pour que les organismes officiels responsables commencent à

envisager des stratégies pour tirer le meilleur parti possible de ce changement. C'est particulièrement vrai en matière de foresterie et au Canada, où on s'attend à un changement climatique important, alors même que les peuplements récents couvriront largement la période du changement climatique entrevu.

76. Hay, G.W.; James, J.H.; vanLoon, G.W. 1985. Solubilization effects of simulated acid rain on the organic matter of forest soils: preliminary results. Soil Sci. 139:422-430. (CFGL)

Les auteurs ont mesuré les concentrations du carbone organique total, des hydrates de carbone totaux, de l'acide fulvique, de l'azote des acides aminés et de l'ammonium dans des lessivats de carottes de podzols du Bouclier canadien extraites des profondeurs d'environ 10 et 20 cm et arrosées avec des solutions aqueuses aux pH 5,7, 3,5 et 2,0. Ils ont prélevé des échantillons au cours d'une simulation en laboratoire d'une pluie de 16 jours correspondant à une accumulation annuelle de 935 mm des précipitations. Les chercheurs ont mesuré les concentrations les plus élevées en carbone organique total, en hydrates de carbone totaux et en acide fulvique après le traitement au pH 5,7; les concentrations étaient plus élevées dans le sol à une profondeur de 10 cm qu'à celle de 20 cm. C'est la solution au pH 2,0 qui a le moins dissous ces substances. Les auteurs ont observé une tendance inverse lors de la mesure des teneurs en azote des acides aminés plus l'ammonium. Le sol possède un effet tampon considérable qui stabilise le pH du lessivat.

77. Hern, J.A.; Rutherford, G.K.; vanLoon, G.W. 1985. Chemical and pedogenetic effects of simulated acid precipitation on two eastern Canada forest soils. 1. Non-metals. Can. J. For. Res. 15:839-847. (CFGL)

Les auteurs ont mené à bien, in situ et en laboratoire, une expérience de simulation de pluies acides sur deux podzols forestiers orthiques humo-ferriques du Bouclier canadien. Ils ont aspergé ces sols avec de l'eau aux pH 5,7, 3,5 et 2,0, acidifiée avec de l'acide nitrique et sulfurique en proportions molaires de 1 pour 2, et ont relevé, pendant deux ans, les concentrations de H^+, NH_4^+, NO_3^- SO_4^{2-} et Cl^- dans l'eau des pores du sol. Ils ont démonté certaines colonnes d'essai après un an et mesuré les quantités de sol total, de N, de S, le pH du sol et les paramètres d'adsorption de S. La moitié des colonnes avaient été stérilisées, pour qu'on puisse évaluer les importances relatives des processus microbiologiques. Les auteurs ont observé que les sols avaient un effet tampon considérable à l'égard de H^+, leur pH ne changeant pas même après une pluie fortement acide. Dans ce cas, et au laboratoire seulement, la formation de nitrates était arrêtée, mais non celle d'ammonium, alors qu'in situ les chercheurs n'ont détecté que de faibles concentrations de ces deux composés azotés dans l'eau des pores du sol. Ils n'ont observé aucun changement de la teneur en azote total du sol. Ils ont évalué la capacité de rétention en soufre, qui est maximale juste en-dessous de l'horizon Ae où s'accumulent les oxydes de fer et d'aluminium et les matières organiques. Les observations faites sur les colonnes stérilisées indiquent que les mécanismes microbiologiques sont d'importance considérable pour la fixation des apports de S.

78. Hern, J.A.; Rutherford, G.K.; vanLoon, G.W. 1988. Effects of simulated acid rain on the cation exchange capacities of two podzolic soils. Geoderma (sous presse). (CFGL)

Les auteurs ont réalisé en laboratoire une expérience sur des colonnes contenant des profils reconstitués de podzols humo-ferrique et ferro-humique, et les ont soumis pendant deux ans à un lessivage qui simulait des pluies acides. Afin

d'évaluer les effets de ce traitement sur la capacité d'échange cationique des sols, ils ont échantillonné les colonnes et mesuré la charge anionique. Ils ont aussi procédé à la mesure du sulfate extractible à l'eau et au phosphate, de la teneur en carbone organique ainsi que du fer et de l'aluminium non silicatés. La charge anionique était en corrélation avec le carbone organique dans les horizons organiques, mais le traitement n'avait eu aucun effet notable. Les auteurs ont observé une légère diminution de la charge anionique en fonction de l'acidité du traitement, dans l'horizon B des deux sols; cependant, la variation n'était significative au seuil de confiance de 95 % que dans le seul cas du podzol humo-ferrique.

79. Hocking, D.; Hocking, M.B. 1977. Equilibrium solubility of trace atmospheric sulfur dioxide in water and its bearing on air pollution injury to plants. Environ. Pollut. (Ser. A) 13:57-64. (CFN)

Il est possible d'améliorer l'analyse des lésions causées par le dioxyde de soufre aux tissus végétaux par une meilleure compréhension de la dynamique chimique de sa dissolution. Les auteurs ont tracé des courbes d'équivalence chimique entre le SO_2 de l'air et de l'eau dans une plage de températures et de concentrations du SO_2 dans l'air qui s'inscrit à l'intérieur de celle entraînant des lésions aux plantes. Ils dressent un tableau des rapports entre les corps ioniques et moléculaires qui ont été observés; on y remarque un excellent accord avec les données expérimentales fragmentaires disponibles. Compte tenu des résultats et des données connus, ils en déduisent que le SO_2 dissous, mais qui n'a pas réagi, est le corps le plus actif dans les mécanismes responsables des lésions initiales subies par les plantes lors d'un épisode de pollution atmosphérique.

80. Hogan, G.D.; Maynard, D.G. 1985. Sulphur analysis of environmental materials by vacuum inductively coupled plasma atomic emission spectrometry (ICP-AES). Pages 676-683 *in* Proc. Sulphur '84 Int. Conf., June, Calgary, Alberta. Sulfur Dev. Inst. Can., Calgary, Alta. (CFGL, CFN)

Le dosage du soufre (S) contenu dans les matériaux environnants a toujours été décevant. Les méthodes utilisées sont malcommodes ou peu fiables à cause d'une précision insuffisante, de la présence d'ions perturbateurs, d'un certain manque de sensibilité et d'un intervalle de travail restreint. La spectrométrie d'émission atomique d'un plasma excité par induction (ICP-AES) a suscité beaucoup d'intérêt pour le dosage du S dans l'acier quand les facteurs techniques sont favorables, mais on n'a pas, en général, reconnu sa validité pour l'étude des matériaux environnants. Les lignes du spectre d'émission du soufre dans l'ultraviolet (180,7 nm) peuvent servir à doser le S dans certains matériaux environnants. Les principaux avantages de cette technique sont la grande rapidité de traitement (de 20 à 30 échantillons à l'heure), un seuil de détection assez bas (0,1 $mg.L^{-1}$) et un large intervalle de travail (linéaire jusqu'à 1 000 $mg.L^{-1}$).

Les auteurs indiquent la précision des dosages du S par spectrométrie plasmique des sédiments, des tissus de végétaux et des échantillons d'eaux courantes. Ils ont vérifié le taux de dosage du S dans ces matériaux et la précision des mesures grâce à des solutions d'addition normalisées et des comparaisons avec des analyses non homologuées de feuilles d'arbres fruitiers et de sédiments estuariens par le National Bureau of Standards des États-Unis. Les teneurs moyennes en S, les écarts-types et le taux de dosage du S des feuilles d'arbres fruitiers et des sédiments estuariens sont de 2 022 $\pm$ 44 (106 %) et 10 540 $\pm$ 203 (111 %), respectivement. Les auteurs ont comparé les résultats des dosages du S faits par spectrométrie plasmique et par les

méthodes classiques (c'est-à-dire chromatographie d'adsorption ionique et appareil de Johnson et Nishita) pour des échantillons choisis.

81. Hogan, G.D.; Morrison, I.K. 1988. Distribution of trace metals within the aboveground phytomass of *Acer saccharum* Marsh. and *Betula alleghaniensis* Britt. at the Turkey Lakes Watershed. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 45 (sous presse). (CFGL)

Les auteurs ont effectué une étude de la répartition du Mn, du Fe, du Zn, du Cu, du Pb, du Ni et du Cd chez l'*Acer saccharum* Marsh. (érable à sucre) et le *Betula alleghaniensis* Britt. (bouleau jaune) du bassin-versant des lacs Turkey, situé dans le district d'Algoma (Ontario). La phytomasse aérienne était surtout constituée de bois de fût (134 200 $kg.ha^{-1}$), d'écorce de fût (19 300 $kg.ha^{-1}$). L'*Acer saccharum* était l'espèce dominante et représentait 88 % de la phytomasse aérienne. Les suites décroissantes des concentrations moyennes d'oligo-éléments métalliques dans la phytomasse étaient Mn > Fe > Zn > Cu > Pb > Ni > Cd pour *A. saccharum* et Mn > Zn > Fe > Cu > Pb > Ni > Cd pour *B. alleghaniensis*. Les plus fortes concentrations d'oligo-éléments métalliques se trouvaient dans le feuillage ou l'écorce de fût et les plus faibles dans le bois de fût mais, étant donné sa masse importante, le bois de fût contenait généralement la plus grande quantité de métaux par arbre et par hectare. Les diverses parties des *B. alleghaniensis* présentaient des teneurs plus élevées en Zn et Cd que celles des *A. saccharum*. Le rapport entre ces teneurs allait de 4 à 10, ce qui montre que c'est *B. alleghaniensis* qui accumule surtout ces métaux. Les concentrations de Pb de toutes les parties d'arbres variaient entre le tiers et la moitié des teneurs signalées ailleurs, montrant que les retombées sur le bassin-versant des lacs Turkey sont plus faibles. Les données similaires recueillies dans le passé, en d'autres endroits de l'Amérique du Nord, indiquent que la concentration en oligo-éléments métalliques dans les parties aériennes des arbres n'est pas plus élevée que la normale dans ce bassin.

82. Hogan, G.D.; Wotton, D. 1984. Pollutant distribution and effects in forests adjacent to smelters. J. Environ. Qual. 13:377-381. (CFN)

Les auteurs ont mesuré les quantités de polluants déposées pendant 50 ans dans un écosystème forestier boréal par les fumées d'une fonderie. Ils ont trouvé de fortes concentrations de Zn, Cu et Pb dans les sols superficiels à proximité de la source (moins de 10 km); ces concentrations diminuaient rapidement en direction sud-sud-est. De fortes retombées métalliques peuvent se produire jusqu'à 35 km de la source. Les corrélations positives entre les concentrations de métaux dans le sol et la proximité de la fonderie prouvent que celle-ci est bien la source des particules métalliques. La plus forte accumulation de polluants métalliques (plus de 4 000 et 1 000 $mg.kg^{-1}$ de Zn et de Cu, respectivement) se trouve à faible profondeur dans les endroits les plus pollués. La mobilisation de ces métaux par l'acide diéthylène-triamine penta-acétique (DTPA) a indiqué que de 50 à 60 % du Zn et de 18 à 36 % du Cu pourraient être absorbés par la végétation. Le pH du sol ne montrait pas de corrélation avec la proximité de la source, ce qui indique que l'acidification ne s'est pas produite; l'analyse de la neige a corroboré cette observation. Les données recueillies indiquent que les concentrations de métaux dans le sol n'ont pas modifié la teneur en éléments nutritifs des feuilles des principales espèces d'arbres. Les auteurs ont trouvé de fortes concentrations de soufre dans le feuillage des épinettes noires (*Picea mariana* Mill.) à proximité de la source, mais pas dans les tissus du pin gris (*Pinus banksiana* Lamb.).

83. Holowacz, J. 1985. The forests and the new forest injury in the Federal Republic of Germany. For. Chron. 61:262-266. (SCF-AC)

Le récent dépérissement forestier en République fédérale d'Allemagne est décrit par l'auteur comme une maladie complexe causée par une multitude de facteurs, parmi lesquels la pollution atmosphérique joue un rôle déterminant. Depuis 1982, il a mené à bien une reconnaissance et deux inventaires systématiques de ces forêts détériorées. Les données tirées du dernier inventaire (de 1984) montrent que plus de 50 % du domaine forestier du pays sont affectés par la récente détérioration. Les résineux semblent plus affectés que les feuillus, et les arbres âgés de plus de 60 ans sont plus souvent attaqués que les plus jeunes. La détérioration se manifeste par un ralentissement brutal de la vitesse de croissance des arbres pris individuellement, et une augmentation de leur mortalité. L'exploitation de ces coupes forcées entraîne des ouvertures non prévues du couvert et un déséquilibre de la répartition des arbres en classes d'âge. Si le dépérissement du domaine forestier de la République fédérale s'étendait encore, celle-ci deviendrait encore plus dépendante des importations de bois d'oeuvre, et le paysage y changerait d'aspect.

84. Huebert, D.B.; L'Hirondelle, S.J.; Addison, P.A. 1985. The effects of sulfur dioxide on net CO_2 assimilation in the lichen *Evernia mesomorpha* Nyl. New Phytol. 100:643-651. (CFN)

Les auteurs ont exposé, pendant de courtes périodes, des thalles de lichen *Evernia mesomorpha* Nyl. en pleine activité, et qui se sont révélés très sensibles, à de l'air contenant de faibles concentrations de gaz sulfureux. Leur taux net d'assimilation du CO_2 (TNA) a été notablement réduit après une exposition à du SO_2 en concentration de 0,085 $\mu L.L^{-1}$ d'air pendant une heure ou plus; la réduction augmentait avec la concentration. La durée de l'exposition n'avait pas d'effet notable sur le TNA; la rapidité d'absorption du SO_2 a donc plus d'effet que la quantité totale absorbée. La respiration a été notablement réduite par une exposition de 4 h ou plus au SO_2 en concentration de 0,265 $\mu L.L^{-1}$ ou plus. Le rétablissement du TNA après l'exposition dépendait tant de la concentration en SO_2 que de la durée de l'exposition, ainsi que de celle du séjour subséquent en air pur. Les auteurs ont noté un rétablissement quasi complet 24 heures après des expositions au SO_2 en concentrations pouvant atteindre 0,355 $\mu L.L^{-1}$ pendant 1 h et 0,085 $\mu L.L^{-1}$ pendant 4 h. Après des expositions à des concentrations supérieures, le rétablissement était incomplet ou nul, même après 24 h dans un air pur. Les auteurs attribuent le degré de sensibilité des thalles aux conditions environnantes pendant leur exposition. Ces facteurs protégeaient l'activité des thalles et empêchaient leur dessication. Les résultats de cette étude, montrent que ni la notion de dose (concentration x temps) ni celle du seuil de concentration du SO_2 durant l'exposition ne sont corroborées. L'exposition au SO_2 en concentrations élevées pendant de courtes périodes a une importance cruciale pour la survie des lichens dans les régions industrielles, notamment à proximité de sources ponctuelles comme les usines d'extraction des hydrocarbures des sables bitumineux.

85. Hutchinson, T.C. 1985. A comparative study of the toxicity of aluminum to seedlings of five coniferous species. Report of contract 25SV KH405-2-0153, Univ. Toronto, Toronto, Ont. 33 p.; figures, tableaux. (CFGL)

L'auteur s'est proposé d'étudier les réactions de semis de différentes espèces forestières commerciales à une exposition à l'Al en présence de Ca ou de Mg, tous en concentrations variables. Il a obtenu les résultats suivants : les semis des cinq espèces de conifères ont montré une certaine tolérance à l'Al en concentrations élevées. La croissance observée est parfois linéaire et son ralentissement commence même à de faibles expositions à l'Al (5 ppm). Le pin blanc s'est révélé de beaucoup le

moins sensible à l'aluminium, alors que l'épinette rouge apparaît la plus sensible, même à de faibles concentrations d'aluminium. Le pin blanc tolère l'Al à 20 ppm sans que sa croissance se ralentisse, et à 40 ppm en ne subissant qu'un léger ralentissement, alors que l'épinette rouge subit un ralentissement de croissance de 50 % à 51 ppm d'Al. L'épinette noire est moins sensible que l'épinette rouge à 5 et 10 ppm d'Al, et sa croissance se ralentit abruptement à mesure qu'augmente la concentration en Al. L'épinette blanche est beaucoup plus tolérante que les deux autres espèces d'épinettes. La teneur élevée en Ca qui a été utilisée (soit 16 ppm) demeurait trop faible pour avoir des effets antagonistes importants en présence d'Al aux concentrations élevées utilisées dans les traitements. Il paraît très probable que le Ca et le Mg atténuent la toxicité de l'Al et que les formes de ce métal dans le sol constituent aussi un facteur déterminant de sa toxicité.

86. Hutchinson, T.C.; Bozic, L.; Munoz-Vega, G. 1986. Responses of five species of conifer seedlings to aluminum stress. Water Air Soil Pollut. 31:283-294. (CFGL)

Les auteurs ont exposé, pendant 12 à 14 semaines, des semis d'épinettes rouges, blanches et noires ainsi que de pins blancs et gris dans du sable en serre à des concentrations variables d'aluminium. Les éléments fertilisants étaient fournis par une solution au pH 3,8 et l'Al était appliqué à raison de 0, 5, 10, 20, 40, 80 et 160 $mg.L^{-1}$. Les auteurs ont observé que la croissance des semis d'épinettes rouges et blanches était inhibée à partir de 5 $mg.L^{-1}$ alors que celle des semis d'épinettes noires ne l'était qu'à partir de 20 $mg.L^{-1}$. À l'inverse, la croissance des semis de pin blanc se trouvait stimulée par une exposition à une concentration d'Al de 5 à 20 $mg.L^{-1}$, et leurs semis étaient toujours plus résistants que ceux des quatre autres espèces à toutes les concentrations en Al essayées. Le pin gris montrait des réactions intermédiaires. Il existe un rapport linéaire positif entre le P et l'accumulation d'Al dans les pousses d'épinette rouge, à l'inverse de ce que les auteurs ont observé chez les quatre autres espèces, où la concentration en P dans les pousses diminuait à mesure que la concentration en Al augmentait. L'étude de la migration de l'Al chez le pin gris, par la technique modifiée de coloration à l'hématoxyline, a montré qu'il s'accumulait dans le méristème apical des racines ainsi que dans le phelloderme et l'assise subéreuse des racines plus âgées. L'analyse par EDAX-SEM a corroboré la répartition de l'Al dans les tissus et montré la similitude des répartitions de l'Al et du P dans les racines.

87. Jeffries, D.S.; Semkin, R.G.; Neureuther, R.; Seymour, M.; Nicolson, J.A. 1986. Influence of atmospheric deposition on lake mass balances in the Turkey Lakes Watershed, central Ontario. Water Air Soil Pollut. 30:1033-1044. (CFGL)

Les auteurs ont calculé le bilan pondéral ionique d'un lac en haute altitude et d'un lac en basse altitude ainsi que de leurs bassins-versants respectifs pendant deux années hydrologiques (juin 1981 à mai 1983). Ces lacs sont situés dans le bassin hydrographique non développé des lacs Turkey, dans le Bouclier canadien, à 50 km au nord de Sault Ste. Marie, en Ontario. Les bilans ioniques des lacs montrent que les retombées à la surface des eaux constituent la principale source de H^+ et de NH_4, alors que les cations basiques, le SO_4, le NO_3 et peut-être les substances alcalines proviennent probablement des eaux de ruissellement des terres environnantes et de celles des lacs d'amont. Ces masses d'eau retiennent fortement le H^+ (c'est-à-dire que les apports sont nettement supérieurs aux pertes), retiennent mal les corps azotés et retiennent les autres ions autant qu'elles en perdent, à l'exception du Ca et des sels alcalins, dont les pertes dépassent les apports mesurés + estimés. Les auteurs supposent qu'un apport d'eau souterraine ou d'infiltration est responsable du

déséquilibre en Ca et en sels alcalins, quoiqu'il puisse aussi exister une source de sels alcalins dans le lac.

88. Joshi, S.R. 1982. Airborne radioactive materials and plants: a review. Sci. Total Environ. 24:101-117. (CFN)

Les substances radioactives transportées par le vent contaminent directement la surface des végétaux et entrent ainsi dans la chaîne trophique. La plupart des produits de la fission nucléaire et certains radionucléides naturels trouvés dans l'air sont transportés par des particules d'un diamètre allant de moins du micromètre à quelques millimètres. Les pluies ont un rôle prédominant parmi tous les mécanismes de dépôt et d'enlèvement des particules radioactives sur les plantes. On n'a pas encore élucidé les mécanismes de dépôt des particules de taille inférieure au micromètre, qui véhiculent une forte radioactivité. Les données recueillies sur les aspects physicochimiques de la rétention des radionucléides par les plantes ne permettent pas d'expliquer leur pouvoir d'adsorption et de désorption de ces substances. Jusqu'ici, la plupart des travaux ont porté sur certains produits de fission. On n'a guère recueilli de données sur le cheminement des radionucléides naturels, notamment le ^{222}Rn et ses produits de filiation, qui sont relâchés en quantités importantes dans l'environnement lors de l'extraction et de la concentration de l'uranium. Il est difficile de détecter les lésions par radioactivité dans les tissus végétaux, sauf si les concentrations de produits radioactifs sont plusieurs milliers de fois supérieures aux concentrations habituelles. Les articles parus contiennent des conclusions contradictoires au sujet des lésions provoquées par un faible rayonnement dans les tissus végétaux.

L'auteur fait un tour d'horizon de la littérature technique pour fournir l'information de base nécessaire à la conduite des recherches et à l'interprétation des résultats obtenus.

89. Kennedy, K.A.; Addison, P.A. 1985. Some considerations for the use of visual estimates of plant cover in biomonitoring. J. Ecol. 75:151-157. (CFN)

Les auteurs ont déterminé l'ampleur des changements nécessaires à la détection des effets de la pollution atmosphérique grâce à une analyse des erreurs d'évaluation visuelle du couvert végétal dans un peuplement de *Pinus contorta* Loudon var. *latifiola* Engelm. dans l'Ouest canadien. Les espèces forestières, pour lesquelles l'erreur était la plus grande, avaient une forte proportion de bois par rapport au feuillage, portaient des feuilles composées ou étaient mal identifiées.

La bonne connaissance de la végétation par l'observateur accroît la précision des mesures alors que la mise à l'écart des espèces forestières entraînant de fortes erreurs quantitatives (> 20 %) n'a guère de conséquences pour l'uniformité des mesures réitérées. La saison d'échantillonnage influence les résultats. Les échantillonnages accomplis entre la mi-juin et la mi-août, alors que la végétation change très peu, éliminent presque complètement cette cause d'erreurs. Il faut que les changements de la végétation dépassent 20 % avant qu'on puisse les attribuer à d'autres facteurs que les variations annuelles et les erreurs de mesure.

90. Kennedy, K.A.; Addison, P.A.; Maynard, D.G. 1985. Effect of particulate elemental sulfur on moss. Environ. Pollut. (Ser. A) 39:71-77. (CFN)

Les auteurs ont étudié l'action des particules de soufre élémentaire sur les mousses dans les peuplements de *Pinus contorta* Loudon var. *latifolia* Engelm. (pin de

Murray) du centre ouest de l'Alberta. Les mousses ont été éliminées dans une bande forestière large de 30 à 60 m autour de la source. Sous le vent de cette zone, le pourcentage des mousses vivantes augmente en proportion directe de l'éloignement de la source, et 46 % de la variance du pourcentage des mousses vivantes correspondent à une régression de la teneur en soufre total de la litière. Il existe un rapport significatif entre la concentration en soufre total et la concentration en soufre élémentaire dans la litière; ces concentrations diminuent en proportion logarithmique de l'éloignement de la source. Il ne semble pas que le pH de la litière reflète l'accumulation des polluants. Les auteurs proposent d'utiliser le pourcentage des mousses vivantes et la teneur en sulfure total de la litière comme indices adéquats des effets de la contamination par le soufre élémentaire des forêts de pins de Murray dans les avant-monts albertains.

91. Kennedy, K.A.; Addison, P.A.; Maynard, D.G. 1987. Effect of elemental sulfur on vegetation. Environ. Pollut. 51:121-130. (CFN)

Les auteurs ont observé que le couvert d'arbrisseaux et de plantes herbacées a été réduit de 98 % et que la diversité des espèces a diminué de 76 % dans une forêt de *Pinus contorta* Loudon var. *latifolia* Engelm. exposée à des retombées de soufre élémentaire, au cours d'une période de cinq ans; au début, ce déclin était plus marqué parmi les plantes herbacées que parmi les arbrisseaux. Le premier s'est produit un an plus tôt que celui de la moitié des espèces d'arbrisseaux. Les auteurs rattachent ces déclins végétaux à l'acidification du sol à mesure de l'oxydation du soufre élémentaire.

92. Khan, A.A.; Malhotra, S.S. 1977. Effects of aqueous sulfur dioxide on pine needle glycolipids. Phytochemistry 16:539-543. (CFN)

Les auteurs concluent que les principaux glycolipides contenus dans les tissus d'aiguilles jeunes et entièrement développées de pin de Murray (*Pinus contorta* Dougl. var. *latifolia* Engelm.) sont le diglycéride de monogalactosyle (DGMG), le diglycéride de digalactosyle (DGDG) et le diglycéride de sulfoquinovosyle (DGSQ). La concentration de ces glycolipides est bien plus forte dans les aiguilles pleinement développées que dans les jeunes aiguilles. L'acide linolénique constitue le principal acide gras de la fraction de DGMD (dans les deux types de tissus) ainsi que dans la fraction de DGDG (dans les tissus entièrement développés). Cependant, l'acide palmitique constitue le principal acide gras de la fraction de DGDG dans les jeunes tissus ainsi que dans la fraction de DGSQ dans les deux tissus. Le traitement des aiguilles par des solutions aqueuses de SO_2 provoque d'importants changements de concentration et de composition dans ces fractions de glycolipides. À 100 ppm, le SO_2 produit une chute considérable de la teneur en acide linolénique de toutes les fractions de glycolipides, laquelle est plus prononcée dans les jeunes aiguilles que dans les aiguilles entièrement développées. Le SO_2 agit également sur l'émission des sucres solubles par les tissus des aiguilles tant jeunes que développées.

93. Khan, A.A.; Malhotra, S.S. 1978. Biosynthesis of lipids in chloroplasts isolated from jack pine needles. Phytochemistry 17:1107-1110. (CFN)

Les auteurs montrent que des suspensions de chloroplastes extraites d'aiguilles de pin transforment le galactose de l'UDP galactose-[^{14}C] en galactolipides. La fixation du marqueur est beaucoup plus forte dans les diglycérides de monogalactosyle que dans les diglycérides de digalactosyle. La fixation de galactosyle dans les deux fractions de galactolipides est optimale au pH 8,0, mais elle est inhibée par des réactifs de type sulfhydryle (p-chloromercuribenzoate, N-

éthylmaléimide et $CdCl_2$). Les préparations de chloroplastes peuvent biosynthétiser différents phospholipides et galactolipides à partir de palmitoyl-[1-^{14}C]-CoA; la majeure partie du marqueur passe dans la phosphatidylcholine. La fixation d'acide [1-^{14}C]-palmitique dans différents lipides est très faible en dépit de l'activité du palmitoyl-[1-^{14}C]-CoA. Cependant, l'addition d'ATP et de CoA stimule de façon marquée la biosynthèse de lipides à partir d'acide [1-^{14}C]-palmitique; cela laisse supposer la présence d'enzymes activateurs. Ces suspensions de chloroplastes ne montrent aucune synthèse nouvelle d'acide gras.

94. Khan, A.A.; Malhotra, S.S. 1982a. Ribulose biphosphate carboxylase and glycollate oxidase from jack pine: effects of sulfur dioxide fumigation. Phytochemistry 21:2607-2612. (CFN)

Les auteurs ont partiellement purifié le biphosphate de ribulose (RuBP)-carboxylase et la glycollate-oxydase extraits d'aiguilles de pin gris (*Pinus banksiana* Lamb.). Une préincubation de la RuBP-carboxylase avec du HCO_3 et du Mg^{2+} stimule considérablement l'activité de cet enzyme. En présence de HCO_3, de Mg^{2+} et du RuBP, la cinétique de réaction de la RuBP-carboxylase suit une courbe hyperbolique. Le SO_3^{2-} ainsi que le SO_4^{2-} inhibent tous deux la RuBP-carboxylase, mais le SO_3^{2-} a un effet inhibiteur plus fort que celui du SO_4^{2-}. L'inhibition par le SO_3^{2-} s'oppose à celle exercée par le HCO_3^- (que le SO_3^{2-} soit présent durant la phase d'activation ou qu'il soit ajouté à l'enzyme activé), alors que l'inhibition par le SO_4^{2-} ne s'y oppose pas. La glycollate-oxydase est davantage inhibée par le SO_3^{2-} en faible concentration que par le SO_4^{2-}. L'exposition de semis de pin gris au gaz sulfureux à 0,34 ppm pendant 24 et 48 h entraîne une réduction considérable de l'activité de ces enzymes, mais une exposition d'une heure n'a pas d'effet. Lors des expositions prolongées, la teneur en soufre des aiguilles s'accroît considérablement, bien qu'elles ne montrent aucune lésion apparente. Les auteurs estiment que l'accumulation de SO_3^{2-} et de SO_4^{2-} dans les aiguilles par suite d'une exposition au gaz sulfureux agit sur l'activité enzymatique.

95. Khan, A.A.; Malhotra, S.S. 1982b. Peroxidase activity as an indicator of SO_2 injury in jack pine and white birch. Biochem. Physiol. Pflanzen 177:643-650. (CFN)

Les auteurs ont observé que l'activité de la peroxydase (EC 1.11.1.7) dans des semis de pin gris et de bouleau à papier s'accroît considérablement au cours du vieillissement des tissus foliaires. L'exposition des semis au gaz sulfureux a provoqué une forte augmentation de l'activité enzymatique et de la teneur en soufre chez les deux espèces, encore plus prononcée chez le bouleau à papier que chez le pin gris. Ils attribuent la stimulation de la peroxydase des semis de pin gris par l'exposition au gaz sulfureux à la production accrue d'isoenzymes de peroxydase plutôt qu'à leur activation. Il semble qu'un accroissement de l'activité de la peroxydase et de la teneur en soufre dans les tissus soumis à l'exposition au gaz sulfureux soit transitoire, puisqu'on observe un retour vers des valeurs normales pendant la convalescence des plantes dans une atmosphère débarrassée de SO_2. Les auteurs envisagent un rôle possible de la peroxydase dans le processus de création de radicaux libres déclenché par le SO_2.

96. Khan, A.A.; Malhotra, S.S. 1983. Protein biosynthesis in jack pine and its inhibition by sulfur dioxide. Phytochemistry 22:1325-1328. (CFN)

La fixation de (U-^{14}C) leucine par le pin gris (*Pinus banksiana* Lamb.) se produit principalement au niveau des chloroplastes et des fractions cytoplasmiques solubles. Dans les chloroplastes, ce traceur radioactif se fixe largement sur les protéines des

membranes. L'exposition de semis de pin au gaz sulfureux (0,34 ppm) pendant 24 h et 48 h inhibe de façon marquée la biosynthèse renouvelée de protéines dans les chloroplastes et les fractions cytoplasmiques. L'inhibition de la biosynthèse des protéines des chloroplastes est plus forte que dans les fractions du cytoplasme. L'intensité de l'inhibition dépend de la durée d'exposition et semble en relation avec l'absorption de soufre par les tissus traités.

97. Khan, A.A.; Malhotra, S.S. 1987. Effects of vanadium, nickel and sulphur dioxide on polar lipid biosynthesis in jack pine. Phytochemistry 26:1627-1630. (CFN)

Les auteurs ont observé la biosynthèse de lipides polaires (phospho- et glycolipides) à partir de [1-^{14}C] acétate dans des aiguilles adultes de semis de pins gris en culture hydroponique. Le traitement des semis par le vanadium (V) ou le nickel (Ni) a causé une inhibition de la biosynthèse de tous les lipides polaires, dépendant fortement de la concentration. Le nickel semble avoir un effet inhibiteur plus prononcé que celui du vanadium à 10 ppm. L'exposition de semis au gaz sulfureux (0,34 ppm) provoque un ralentissement de la biosynthèse des lipides polaires. Les traitements combinés de semis par un métal (V ou Ni) et le SO_2 provoquent des effets inhibiteurs qui sont semblables à ceux produits par le métal appliqué isolément; cependant, le SO_2 accentue l'inhibition provoquée par le V.

98. Kingston, D.G.O.; Mahendrappa, M.K.; Salonius, P.O. 1978. Stand and soil changes after fertilization of semimature jack pine in northern New Brunswick. Can. For. Serv. Inf. Rep. M-X-91. (SCF-M)

En 1973, les auteurs ont effectué des fertilisations expérimentales dans un peuplement de pins gris (*Pinus banksiana* Lamb.) d'âge moyen. Elles consistaient en une application d'azote au taux de 168 kg N.ha^{-1} sous forme d'urée soit seule, soit associée à du phosphore au taux de 168 kg P.ha^{-1} sous forme de superphosphate triple. Les auteurs ont mesuré la concentration édaphique et foliaire en éléments fertilisants avant et après l'application d'engrais. Ils ont évalué périodiquement les réactions du peuplement, comme la mortalité, le dhp et les accroissements bruts du volume total et du volume marchand.

Il semble que la concentration en azote n'ait augmenté que dans les horizons L et F à la suite de l'application d'urée, et que la migration de N vers le bas ait été minime dans ce peuplement de pins gris. Cependant, la concentration en phosphore s'est accrue dans les horizons tant organiques que minéraux des placettes fertilisées au phosphore. L'addition de N seulement et de N en association avec P a accru la teneur foliaire en azote, alors que l'application de P seulement ne semble pas avoir eu d'effet sur ce paramètre. En 1973 et 1974, l'application de superphosphate triple semble avoir produit une concentration foliaire plus élevée en P mais, en 1975, ce paramètre était revenu au niveau observé chez les témoins. Le traitement par N et P ne semble pas avoir eu d'effet notable sur la masse foliaire en 1974 ou en 1975.

Les auteurs ont observé une plus forte mortalité dans les placettes témoins, et dans l'ordre de décroissance suivant : N1PO > N1P1 > NOP1. L'application de N et de N + P a régulièrement produit des augmentations de la surface terrière plus fortes en pourcentage que celles des témoins ou celles découlant d'une fertilisation par P. Quel qu'ait été le traitement, les arbres dominants et co-dominants bénéficiaient d'un accroissement plus fort de leur surface terrière. Les augmentations brutes des volumes totaux et des volumes marchands étaient similaires aux accroissements en pourcentage de la surface terrière. Après trois périodes végétatives, l'application de 168 kg N.ha^{-1} a donné 4 m^3.ha^{-1} de bois marchand de plus que la production des

témoins. L'application simultanée de P et de N a procuré un volume additionnel de 3 m^3 ha^{-1}.

99. LeBlanc, F.; Robitaille, G.; Rao, D.N. 1974. Biological response of lichens and bryophytes to environmental pollution in the Murdochville copper mine area, Québec. J. Hattori Bot. Lab. 38:405-433. (CFL)

Les auteurs ont cartographié les retombées issues d'une fonderie de cuivre sur les lichens et les bryophytes des alentours grâce à l'indice de pureté de l'air. Ils ont établi l'existence d'une corrélation négative entre l'indice, la concentration en cuivre dans les lichens et les mousses, et l'éloignement de la fonderie.

100. LeBlanc, F.; Robitaille, G.; Rao, D.N. 1976. Ecophysiological response of lichen transplants to air pollution in the Murdochville Gaspé copper mines area. J. Hattori Bot. Lab. 40:27-40. (CFL)

On a utilisé récemment la méthode de transplantation pour l'étude des effets de la pollution atmosphérique sur les lichens et les bryophytes (Brodo, 1961; LeBlanc et Rao, 1966; Schonbeck, 1969). Suivant cette méthode, on transporte du lichen ou des bryophytes d'espèces choisies avec leur substrat, que ce soit de la terre, de la roche ou de l'écorce, d'un endroit relativement peu pollué à un endroit pollué, où on les laisse en place pour une durée précise. On compare ensuite les changements consécutifs à l'exposition avec ceux observés chez les témoins, des points de vue tant qualitatif que quantitatif. L'ampleur des changements observés indique le degré de pollution de la région. Une série de transplantations le long d'un gradient de pollution dans une région suffisamment uniforme, sur le plan écologique, permettrait d'y délimiter grossièrement des zones d'isotoxicité.

Afin d'étudier le taux de pollution et la répartition géographique des polluants aux alentours des mines de cuivre de Murdochville, dans le nord-est du Québec, les auteurs ont transporté des disques d'écorce couverts de lichens sur des arbres poussant en divers lieux d'observation aux alentours de la fonderie de cuivre de Murdochville.

101. L'Hirondelle, S.J.; Addison, P.A. 1985. Effects of SO_2 on leaf conductance, xylem tension, fructose and sulfur levels of jack pine seedlings. Environ. Pollut. (Ser. A) 39:373-386. (CFN)

Les auteurs ont exposé des semis de pins gris âgés de dix semaines à du gaz sulfureux à une série de concentrations (de 0,1 à 1,0 $\mu L.L^{-1}$) pendant une série de durées (de 0 à 96 heures) et dans des conditions déterminées. La conductance des feuilles, la tension du xylème et la teneur en fructose diminuaient et la teneur en soufre croissait à mesure que la concentration du gaz sulfureux augmentait et que la durée s'accroissait. Les auteurs n'ont observé que peu de changements avant l'apparition de lésions visibles. La réaction des stomates n'était pas rapide, et leur fermeture complète n'a été observée qu'à de fortes concentrations et de longues durées d'exposition. La tension du xylème était décalée par rapport à la conductance des feuilles, mais les changements étaient similaires. Les variations de la teneur en fructose étaient faibles et progressives. La teneur en soufre a augmenté de façon notable après 10 heures d'exposition au gaz sulfureux. Les formules de régressions multiples qui décrivent les surfaces tridimensionnelles des réactions à chaque variable contiennent toutes un terme crucial d'interactions. Bien que ces formules de régression donnent des résultats très significatifs, la variabilité naturelle des semis empêche leur utilisation prévisionnelle.

102. L'Hirondelle, S.J., Addison, P.A.; Huebert, D.B. 1985. Growth and physiological responses of aspen and jack pine to intermittent SO_2 fumigation episodes. Can. J. Bot. 64:2421-2427. (CFN)

Les auteurs ont exposé 0, 2 ou 5 fois par semaine, pendant trois heures, des semis de trembles âgés de 5 semaines et des semis de pins gris âgés de 8 semaines à du gaz sulfureux en concentrations variables (moyenne = 0,30 $\mu L.L^{-1}$; pic = 0,78 $\mu L.L^{-1}$). Cette exposition intermittente pendant 7 à 8 semaines n'a pas eu d'effet systématique sur la biomasse aérienne ni sur le taux net d'assimilation et la résistance foliaire avant exposition de chaque espèce. Les auteurs ont observé une réduction importante (jusqu'à 47 %) de la biomasse aérienne des semis de pins gris exposés après 6 semaines, mais cette réduction n'était pas notable après 7 semaines. Ils ont observé des effets transitoires notables du gaz sulfureux sur le taux net d'assimilation et la résistance foliaire chez les deux espèces. La plus forte réduction du taux net d'assimilation des trembles a été de 38 % au cours de l'exposition et de 13 % après celle-ci. Pour le pin gris, la plus forte réduction du taux net d'assimilation après exposition était de 18 %, et sa moyenne sur six semaines était de 12 %. La résistance foliaire du tremble a augmenté jusqu'à 47 % au cours de l'exposition et de 20 % après celle-ci. Les deux espèces se sont entièrement rétablies après leur exposition transitoire au gaz sulfureux, et n'ont pas montré de sensibilité accrue à cette exposition au cours de l'expérience. C'est peut-être pourquoi on n'a pu mettre en évidence les effets physiologiques et biochimiques de la pollution sulfureuse aux alentours de l'usine d'extraction des hydrocarbures des sables bitumineux dans le nord de l'Alberta.

103. Loman, A.A.; Blauel, R.A.; Hocking, D. 1972. Sulfur dioxide and forest vegetation. Can. For. Serv. Inf. Rep. NOR-X-49. (CFN)

Les auteurs décrivent l'apparition de symptômes foliaires à la suite d'une exposition au gaz sulfureux. Comme la teneur en soufre des feuilles saines est variable on ne peut se servir de ce paramètre comme indice de détérioration.

La plante verte représente l'ensemble des interactions entre facteurs biotiques et abiotiques. Elle peut donc servir d'instrument de surveillance biologique. Les normes actuelles de concentration sulfureuse au niveau du sol édictées en Alberta prévoient un maximum de 1,0 ppm de gaz sulfureux dans l'air, pendant une période n'excédant pas une heure, aux fins de torchage. Cette concentration élevée serait mortelle pour toutes les espèces forestières de l'Alberta.

104. Lozano, F.C.; Morrison, I.K. 1981. Disruption of hardwood nutrition by sulfur dioxide, nickel and copper air pollution near Sudbury, Canada. J. Environ. Qual. 10:198-204. (CFGL)

Les auteurs ont échantillonné des arbres poussant dans des endroits de gravement à modérément pollués par des fumées et des retombées atmosphériques, ceux poussant dans des zones témoins aux alentours de Sudbury, en Ontario, ainsi que le sol où poussent ces arbres, et ont déterminé la composition chimique des échantillons. Quatre espèces de feuillus ont servi à ces travaux, soit le bouleau à papier (*Betula papyrifera* Marsh.), le chêne rouge (*Quercus rubra* L.), l'érable rouge (*Acer rubrum* L.) et le peuplier faux-tremble (*Populus tremuloides* Michx.). Les résultats ont montré qu'aux endroits pollués par les fumées et les retombées, les sols étaient appauvris en matières organiques, en bases échangeables (notamment le Ca et le Mg) et en oligo-éléments (notamment le Mn et le Zn). Les teneurs en S, Fe, Cu et

Ni étaient plus élevées que la normale. L'analyse foliaire a corroboré l'opinion selon laquelle les sols en question contenaient du Ni et du Cu en concentrations de presque toxiques à toxiques. Même si l'on pouvait supprimer les retombées de Ni ou de Cu, il demeure que la croissance des arbres serait limitée par la pauvreté du sol en Ca, Mg, Mn ou encore N ou P.

105. Lozano, F.C.; Morrison, I.K. 1982. Growth et nutrition of white pine and white spruce seedlings in solutions of various nickel and copper concentrations. J. Environ. Qual. 11:437-441. (CFGL)

Dans le cadre de recherches sur les rapports entre la présence d'éléments fertilisants, leur concentration foliaire et la croissance végétale, en vue de résoudre le problème plus général du reboisement de certaines terres polluées, les auteurs ont cultivé en phytotron, pendant 20 semaines, des semis de pins blancs (*Pinus strobus* L.) et d'épinettes blanches (*Picea glauca* (Moench) Voss) dans des solutions nutritives contenant du Ni et du Cu à diverses concentrations. Au cours d'une série d'essais, ils ajoutaient du Ni à la seconde moitié de chaque essai à raison de 0, 0,01, 0,1, 1 et 10 ppm; au cours de la seconde série, ils ajoutaient du Cu à raison de 0, 0,01, 1, 10 et 100 ppm; et au cours de la troisième série, ils ajoutaient le Ni et le Cu ensemble dans une combinaison factorielle de 0, 1 et 10 ppm. À la fin de chaque expérience, les auteurs récoltaient les semis et déterminaient leur croissance, ainsi que la composition chimique. En général, la croissance était fortement ralentie par l'addition de Ni ou de Cu, ou les deux ensemble, à la teneur de 10 ppm dans les solutions nutritives. Il se pourrait que les semis d'épinettes blanches soient plus sensibles que ceux du pin blanc au Ni en concentration élevée et que l'inverse soit vrai pour le Cu en concentration élevée. La concentration foliaire en Ni ou en Cu augmentait en fonction de leur concentration dans les solutions. Les concentrations foliaires en d'autres éléments ne suivaient aucune tendance nette, exception faite du Fe et du Zn dont la concentration a diminué : celle du Fe en fonction de l'apport en Ni ainsi qu'en Cu, celle du Zn principalement en fonction de l'apport en Ni.

106. Magasi, L.P. 1985. Dispositif national d'alerte rapide pour les pluies acides. Guide pour l'établissement et la surveillance des parcelles. Rel. ins. mal. arbres., Serv. can. for., Ottawa. 51 p. (SCF-AC, SCF-M)

L'auteur décrit les méthodes d'établissement et de surveillance des placettes appartenant au réseau national des stations forestières. Des formules d'enregistrement des observations suivant le protocole opératoire sont fournies.

107. Magasi, L.P. 1988. Dispositif national d'alerte rapide pour les pluies acides. Guide pour l'établissement et la surveillance des parcelles. Rel. ins. mal. arbres., Serv. can. for., Ottawa. Rapport d'inf. DPC-X-25F. (SCF-AC, SCF-M)

L'auteur décrit les méthodes révisées d'établissement et de surveillance des placettes appartenant au réseau national des stations forestières. Des formules d'enregistrement des observations suivant le protocole opératoire sont fournies.

108. Mahendrappa, M.K. 1972. Non-biological decomposition of nitrite in forest soils. Can. For. Serv. Inf. Rep. M-X-35. 23 p. (SCF-M)

Il ne fait pas de doute que la matière organique du sol joue un rôle important dans la décomposition du NO_2^-. Cependant, ses effets sur la nature des produits formés dépendent des sièges de réaction exposés. Il semble que contrairement aux terres agricoles où la quantité de N_2O produit dépend de la teneur en matières

organiques, la formation de N_2O dans les sols forestiers dépend de la quantité de NO_2^- décomposé. L'influence de la matière organique sur la production de N varie selon qu'il s'agit d'horizons alluviaux ou d'horizons illuviaux. Dans les terrains boisés où se produit une accumulation temporaire de NO_2^-, une perte de N sous forme de N_2 est possible. Le dégagement d'oxydes de N sous forme de NO et de NO_2 est également probable; il reste à évaluer son ampleur et les effets de ces oxydes.

109. Mahendrappa, M.K. 1974. Volatilization of oxides of nitrogen from nitrate-treated black spruce raw humus. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 38:522-523. (SCF-M)

L'auteur a ajouté du nitrate sous différentes formes à des mottes d'humus brut couvertes de sphaignes (*Sphagnum* sp.) et d'hypnées (*Pleurozium* sp. et *Hypnum* sp.) et les a soumises à une incubation dans des enceintes en verre avec circulation d'air au-dessus des mottes. L'oxyde d'azote entraîné hors des enceintes par l'air était absorbé dans des pièges à solution de permanganate. L'auteur a observé la vaporisation des oxydes d'azote dans tous les cas. La quantité d'oxydes d'azote produits diminuait selon la nature du nitrate ajouté, dans l'ordre suivant : $Al(NO_3)_3$, $Ca(NO_3)_2$, NH_4NO_3, KNO_3. Dans tous les cas, la proportion d'azote du nitrate ajouté qui était capturée sous forme d'oxyde était très faible (0,005 % en moyenne). L'addition de nitrate acidifiait les couches L et F de l'humus brut.

110. Mahendrappa, M.K. 1978. Changes in the organic layers under a black spruce stand fertilized with urea and triple superphosphate. Can. J. For. Res. 8:237-242. (SCF-M)

L'auteur a observé, pendant cinq périodes végétatives, l'évolution des teneurs du sol en éléments fertilisants et la décomposition des matières organiques dans un peuplement d'épinettes noires (*Picea mariana* [Mill.] B.P.S.) sur le sol duquel il avait répandu de l'urée et du superphosphate triple.

L'application des deux P et N accélère la décomposition des matières organiques comme l'indique la diminution pondérale des couches L et F des placettes fertilisées et les valeurs calculées des coefficients de décomposition. L'urée répandue migrait vers le bas de l'horizon organique en changeant les caractéristiques physiques et chimiques des matériaux organiques, particulièrement dans les couches F et H, leur conférant un toucher graisseux par comparaison avec les matériaux organiques des placettes non fertilisées. L'épaisseur des horizons organiques a été réduite par l'épandage d'urée, dans la plupart des placettes. À la fin des cinq périodes de croissance, l'auteur a pu déceler les différences des taux de N ammonique échangeable à la suite des épandages. Ces différences en N ammonique étaient les plus fortes dans la couche L à la fin de la première période végétative (1968), et dans les couches F et H après cinq périodes (1972). La concentration en P mobilisable, cependant, a été modifiée par la fertilisation en 1968, mais non en 1972. L'addition de P à l'urée a retardé la migration de N.

111. Mahendrappa, M.K. 1979. Interception of aerally applied ammonium nitrate by hardwood and softwood trees. Can. J. For. Res. 9:437-441. (SCF-M)

L'auteur a mesuré les quantités de N ammonique et de N des nitrates présentes dans des échantillons d'eau de ruissellement sur écorce et d'eau de pénétration par les frondaisons dans des peuplements de feuillus et de résineux, tant avant qu'après un épandage aérien de nitrate d'ammonium. Il a mesuré chaque jour la répartition de l'engrais atteignant le sol au cours de l'expérience.

Avant l'épandage, les concentrations de N des nitrates et de N ammonique, tant dans l'eau de ruissellement sur écorce que dans l'eau de pénétration par les frondaisons, étaient négligeables. Bien que l'auteur ait récupéré un plus grand nombre de granules d'engrais par unité de surface sous les feuillus que sous les résineux, les teneurs en azote de l'eau de ruissellement sur écorce et de l'eau de pénétration par les frondaisons étaient plus fortes dans les peuplements de résineux que dans ceux de feuillus. En conséquence, l'auteur conclut que les résineux interceptent une plus forte proportion du nitrate d'ammonium répandu par voie aérienne que les feuillus.

112. Mahendrappa, M.K. 1980. Relationships between different estimates of mineralizable N in the organic materials under black spruce stands. Can. J. For. Res. 10:517-522. (SCF-M)

L'auteur a ajouté de l'urée et de l'orthophosphate diammonique à des échantillons de la couche organique supérieure (L) et moyenne (F) du sol d'un peuplement d'épinettes noires (*Picea mariana* [Mill.] B.S.P.) avant de les incuber dans la forêt et dans des chambres climatisées. Il a dosé le N ammonique et de Kjeldahl extractibles au KCl, et le N distillable en milieu alcalin dans les parties d'échantillons autoclavés, avant et après incubation. L'auteur a recueilli périodiquement des échantillons des couches organiques L, F et H (partie inférieure) dans les placettes fertilisées des peuplements d'épinettes noires et les a analysés de la même façon.

Il a établi une relation linéaire entre les quantités de N ammonique extractible au KCl et le N distillable en milieu alcalin dans des échantillons incubés sous différentes conditions. Des facteurs tels que le régime thermique, l'addition d'engrais et la position des couches organiques dans le sol n'influencent pas cette relation observée. Elle est valide pour les échantillons du sol fertilisé d'un peuplement d'épinettes noires et il semble logique de considérer les estimations du N distillable en milieu alcalin comme une bonne indication du N net minéralisable, et donc potentiellement mobilisable. Les estimations du N distillable en milieu alcalin semblent préférables au dosage du N ammonique extractible par le KCl à cause de la rapidité et de la simplicité de l'analyse correspondante.

113. Mahendrappa, M.K. 1982a. Effects of SO_2 pollution on nitrogen transformation in some organic soils of northeastern New Brunswick : ammonia volatilisation. Can. J. For. Res. 12:458-462. (SCF-M)

L'auteur a étudié en laboratoire la volatilisation de l'ammoniac des échantillons des couches d'humus brut recueillis dans une région du Nouveau-Brunswick septentrional diversement polluée par le SO_2 provenant d'une source ponctuelle. Il a ajouté de l'urée aux doses de 0, 15 et 30 mg de N par bocal à échantillon (soit 0, 150 et 300 kg de $N.ha^{-1}$) et les a incubés pendant 14 jours dans des chambres climatisées.

La quantité d'ammoniac volatilisée a été proportionnelle aux quantités d'urée ajoutées. Alors que ces quantités d'ammoniac dégagées par les échantillons prélevés dans des régions peu ou nullement polluées ne différaient guère, elles étaient plus de 20 fois celles dégagées par les échantillons provenant de régions fortement polluées. L'auteur relie l'effet de la pollution par le SO_2 sur la volatilisation de l'ammoniac au pH originel des couches organiques avant incubation. Il semble qu'un faible pH du sol, causé par la pollution par le SO_2, gêne cette volatilisation par suite de l'effet inhibiteur d'une plus forte concentration en ions H. Le piégeage du NH_3 issu des couches inférieures du sol par les horizons acides supérieurs y contribue également.

Le plancher du pH en-dessous duquel la volatilisation de l'ammoniac est fortement réduite se trouve entre 3,5 et 4.

114. Mahendrappa, M.K. 1982b. Effects of forest cover type and organic horizons on potential water yield. Pages 215-224 *in* Can. Hydrol. Symp. 1982, 14-18 june, Fredericton, N.B. (SCF-M)

L'auteur, se servant de données recueillies au cours de plusieurs années, a analysé la répartition de la pluie dans les terrains découverts et telle qu'elle arrive au sol par le ruissellement sur écorce et la pénétration par les frondaisons dans six peuplements de conifères et trois peuplements de feuillus. Ces peuplements se trouvent dans un rayon de 5 km autour du bureau-chef de la Station forestière expérimentale Acadia, dans le centre du Nouveau-Brunswick. Grâce à un échantillonnage extensif des horizons organiques et minéraux du sol où poussent ces peuplements, il a mesuré la masse à l'hectare, l'épaisseur et le taux d'humidité de chaque horizon.

Les résultats montrent que la proportion de la pluie atteignant le sol par ruissellement sur écorce est très faible (de 1 à 6 %). La proportion pénétrant par les frondaisons dépend fortement de l'intensité de la pluie. Cependant, elle montre une forte relation linéaire avec les quantités de pluie tombant en terrain découvert pour une large gamme d'intensités. L'auteur évalue statistiquement l'effet du couvert sur les quantités de pluie atteignant le sol en utilisant des relations linéaires.

L'évaluation des données concernant les caractéristiques des sols montre qu'il existe des différences évidentes entre les masses et les épaisseurs des horizons organiques où poussent les peuplements. Les calculs fondés sur la masse et la capacité de rétention de l'eau caractérisant ces horizons indiquent que la couverture forestière ne constitue par le seul facteur important du bilan hydrique. C'est quand l'épisode de pluie produit moins de 10 mm d'eau que les effets combinés du couvert forestier et des caractéristiques des horizons organiques sont les plus positifs pour le bilan hydrique.

115. Mahendrappa, M.K. 1983a. Chemical characteristics of precipitation and hydrogen input in throughfall and stemflow under some eastern Canadian forest stands. Can. J. For. Res. 13:948-955. (SCF-M)

C'est à la Station forestière expérimentale Acadia, dans la région centrale du Nouveau-Brunswick, que l'auteur a mesuré les caractéristiques chimiques des échantillons de pluie recueillis entre 1977 et 1981 en cinq points différents. Dès le début des années 1970, il avait recueilli des échantillons d'eau de ruissellement sur écorce et d'eau de pénétration des frondaisons dans six peuplements de conifères et trois peuplements de feuillus, et les avait analysés chimiquement. En 1976, l'auteur répandit de l'urée dans deux des quatre placettes de chaque peuplement, au taux de 225 kg de $N.ha^{-1}$. Les quantités de pluie et ses pH variaient fortement d'un mois et d'une année à l'autre, et entre les échantillonnages. La moyenne pondérée du pH de la pluie estivale (mai-octobre) échantillonnée fréquemment au cours de la période 1977-1981 couvrait la plage de 4,5 à 5,1 et la moyenne pondérée générale pour ces cinq années était de 4,75. Les quantités de soufre et de N des nitrates apportées de mai à octobre 1982 a atteint 6,18 et 1,52 $kg.ha^{-1}$, respectivement, pour ces six mois. La concentration des ions H dans l'eau de pénétration des frondaisons était inférieure à celle de la pluie, et le pH de cette eau était plus élevé (moins d'ions H) dans les bois feuillus que dans les bois résineux. Le pH de l'eau de ruissellement sur écorce des conifères était plus faible que celui de la plupart des pluies. Bien que

de façon peu notable, les concentrations d'ions H dans les eaux de pénétration des frondaisons et l'eau de ruissellement sur écorce des placettes fertilisées étaient plus faibles que celles des placettes non fertilisées. La teneur de la pluie en ions H était réduite par contact avec toutes les espèces forestières, mais une forte différence apparaissait entre espèces du point de vue de leur capacité à réduire l'hydrogène total atteignant le sol.

116. Mahendrappa, M.K. 1985. Precipitation chemistry affected by differences in location of collection sites and storage methods. Atmos. Environ. 19:1681-1684. (SCF-M)

L'auteur a évalué de façon rigoureuse les différences possibles dans les concentrations mesurées d'ions hydrogène, nitrate et sulfate dans les échantillons de précipitations globales, et découlant de la diversité des emplacements des collecteurs de pluie, ainsi que de la durée et de la température de l'eau accumulée. La conservation des échantillons de précipitations pendant des durées pouvant atteindre un mois, tant sur place qu'en chambre froide, entraîne une perte importante d'ions hydrogène. Seule, la conservation sur place des échantillons a causé une réduction liée statistiquement de la concentration du nitrate dans des échantillons de précipitations. L'auteur n'a pas observé d'influence notable due à la conservation dans le cas des ions de sulfate des échantillons stockés sur place ou dans des chambres froides. Des échantillons obtenus à l'aide d'un pluviomètre situé sur le toit d'un bâtiment étaient plus acides que ceux recueillis au-dessus de terrains ouverts en forêt. Bien que les concentrations en sulfate et en nitrate de tous les échantillons aient suivi des courbes saisonnières similaires, elles différaient entre elles régulièrement. Ces résultats soulignent la nécessité d'installer les stations d'échantillonnage nationales à une certaine distance des sources ponctuelles de pollution (y compris des installations de chauffage domestiques).

117. Mahendrappa, M.K. 1986. Abilities of organic horizons under some eastern Canadian forest stands to alter the acidity of rainwater. Can. J. For. Res. 16:18-22. (SCF-M)

L'auteur évalue diverses données concernant les précipitations recueillies au cours de 13 années dans différents peuplements de conifères et de feuillus à la Station forestière expérimentale Acadia, dans la région centrale du Nouveau-Brunswick, en vue de mettre en relief les différences de capacité des différents peuplements à modifier l'acidité de l'eau de pluie.

La capacité de rétention des eaux par le sol organique des divers peuplements varie notablement à cause des épaisseurs différentes de la litière accumulée sous les diverses espèces, et de sa nature. À leur tour, les quantités variables d'eau retenues dans les différents horizons organiques modifient la durée du séjour de la pluie acide dans les horizons minéraux. Les fortes variations de caractéristiques chimiques telles que le pouvoir d'échange cationique, le pourcentage de saturation en cations basiques et le pH des horizons organiques indiquent que les interactions entre les composantes acides des retombées humides et sèches des polluants atmosphériques peuvent différer notablement, selon la composition spécifique des peuplements.

118. Mahendrappa, M.K. 1987. Tree species and urea treatment effects on sulfur and metals in throughfall and stemflow of some eastern Canadian forest stands. Can. J. For. Res. 17:1035-1042. (SCF-M)

L'auteur a mesuré les quantités et les concentrations de S, Al, B, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb et Zn dans des échantillons de l'eau de pénétration des frondaisons et de l'eau

de ruissellement sur écorce recueillis de 1978 à 1981 dans six peuplements de conifères et dans trois peuplements de feuillus de la Station forestière expérimentale Acadia, dans la région centrale du Nouveau-Brunswick. Il a également dosé les éléments ci-dessus dans des échantillons d'épisodes de fortes précipitations recueillis dans des terrains ouverts à proximité de ces peuplements. Ces analyses ont porté sur les solides totaux de lyophilisation des eaux de pénétration par les frondaisons et de ruissellement sur écorce, et d'eau de pluie.

119. Mahendrappa, M.K. 1988. Acid rain effects on nitrogen availability from litter and organic matter decomposition. *In* P.J. Rennie et G. Robitaille, directeurs de publication, Effets des précipitations acides sur les ressources forestières. Compte rendu du symp. tenu à Québec, 1983 (sous presse). (SCF-M)

L'auteur passe en revue la littérature technique concernant les effets des pluies acides sur la mobilisation de l'azote dans la mesure où celle-ci est influencée par la décomposition de la litière et des matières organiques. Il analyse les processus séquentiels des transformations de l'azote à partir de son apport aux écosystèmes par les dépôts secs ou humides, suivi par sa fixation, le lessivage de la litière, sa décomposition et celle des matières organiques, et par la mobilisation potentielle de l'azote à l'avantage du couvert au cours des diverses phases de cette décomposition. L'auteur décrit également le rôle de la microfaune et de la microflore dans les processus de décomposition modifiés par l'acidification de l'écosystème. Finalement, il présente certaines données qu'il a recueillies au sujet des effets des pluies acides sur les processus de transformation de l'azote, et du rôle d'autres facteurs sur ces processus.

120. Mahendrappa, M.K.; Foster, N.W.; Weetman, G.F.; Krause, H.H. 1986. Nutrient cycling and availability in forest soils. Can. J. Soil. Sci. 66:547-572. (SCF-M, CFGL)

Il faut connaître les quantités d'éléments nutritifs mobilisables dans les sols forestiers pour déterminer s'il serait possible d'accroître durablement la production de bois, soit par l'addition d'engrais ou par l'utilisation de méthodes sylvicoles judicieuses en vue d'optimiser la satisfaction des besoins variables des cultures forestières. La mobilisation plus ou moins grande des éléments nutritifs du sol forestier au cours du développement des peuplements rend cette entreprise malaisée. Contrairement aux cultures agricoles, les cultures forestières ont une longue période de révolution qui rend difficile la méthode agricole d'évaluation des éléments nutritifs mobilisables présents dans le sol forestier. Les auteurs font un tour d'horizon : 1) des différentes méthodes utilisées en foresterie pour l'évaluation du potentiel nutritionnel de diverses stations forestières; 2) des facteurs de mobilisation des éléments nutritifs, et 3) des preuves que les cycles des éléments nutritifs dans le sol sont des facteurs importants de la croissance des arbres. Ils soulignent qu'il faut utiliser avec prudence les données tirées des analyses chimiques d'échantillons du sol en des endroits précis et à des moments déterminés pour prendre des décisions pratiques et élaborer des modèles de simulation.

121. Mahendrappa, M.K.; Kingston, D.G.O. 1982. Prediction of throughfall quantities under different forest stands. Can. J. For. Res. 12:474-481. (SCF-M)

Au cours de 1977-1978, les auteurs ont mesuré intensivement la répartition quantitative de l'eau de pénétration par les frondaisons dans des placettes fertilisées et témoins de six peuplements de conifères et de trois peuplements de feuillus, et de l'eau de pluie dans des terrains découverts proches de ces peuplements. Ils ont

utilisé des pluviomètres normaux et des entonnoirs improvisés pour mesurer l'eau de pénétration par les frondaisons et l'eau de pluie en terrain découvert. Les entonnoirs improvisés dont l'orifice était plus petit que celui du pluviomètre normal ont convenu à la mesure précise des quantités d'eau, tant sous le couvert qu'en terrain découvert. Les modèles de régression linéaire simples de la forme $Y = bX-a$ ont suffi pour calculer les quantités d'eau de pénétration par les frondaisons (Y) à partir des mesures d'eau de pluie (X). Les quantités d'eau étaient fortement corrélées dans chaque cas. L'épandage d'urée au taux de 225 kg de $N.ha^{-1}$ n'a pas modifié la pente (b) ou l'ordonnée à l'origine (a) de la droite de régression. Les auteurs n'ont pas trouvé de différence notable entre les répressions calculées pour 1977 et 1978 pour toute espèce sauf le sapin baumier (*Abies balsamea* [L.] Mill.) et le mélèze (*Larix laricina* [Du Roi] K. Koch). Les différences observées à propos du sapin baumier résultaient probablement d'une forte défoliation par la tordeuse des bourgeons de l'épinette (*Choristoneura fumiferana* [Clem]). Dans la plupart des cas, les pentes (b) des droites de régression des différentes espèces forestières n'étaient pas notablement différentes. Cependant, les quantités minimales de pluie (a/b) devant tomber avant qu'on ne puisse mesurer dans les pluviomètres la quantité d'eau de pénétration par les frondaisons des neuf espèces différaient notablement.

122. Mahendrappa, M.K.; Salonius, P.O. 1982. Nutrient dynamics and growth response in a fertilized black spruce stand. Soil Sci. Soc. Am. J. 46:127-133. (SCF-M)

En 1968, les auteurs ont entrepris une expérience de fertilisation forestière dans un peuplement d'épinettes noires (*Picea mariana* [Mill.] B.S.P.) de la région centrale du Nouveau-Brunswick. Ils ont répandu de l'azote sous forme d'urée et du phosphore à trois teneurs différentes sous forme de superphosphate triple en combinaison factorielle, sur des paires de placettes circulaires. Pendant les 10 années qui ont suivi l'épandage de fertilisants, les auteurs ont surveillé l'évolution des composantes du cycle de l'azote, la transformation de la matière organique et l'activité microbienne tant sur place qu'en laboratoire, à l'aide d'échantillons de sol provenant du peuplement d'épinettes noires. Ils ont également déterminé périodiquement les réactions concomitantes des peuplements à l'épandage de fertilisants. L'épandage de fertilisants azotés et phosphorés a augmenté les taux de N foliaire dans toutes les placettes fertilisées. Les teneurs en azote de la litière ont également augmenté. Les concentrations d'azote dans les aiguilles des litières provenant des placettes fertilisées et témoins atteignaient, en moyenne, 79 et 66 % respectivement des concentrations dans le houppier. L'absorption d'oxygène par l'humus brut était plus forte quand il était incubé avec des aiguilles de litière provenant de placettes fertilisées, qu'avec celles provenant de placettes témoins. L'effet accélérateur de ces aiguilles de litière paraît lié à l'épandage de fertilisants pendant des étés secs. Les auteurs ont trouvé du nitrate dans la solution du sol provenant de placettes fertilisées avec du N et du P, et son lessivage paraît négligeable. Les taux de croissance des arbres après la fertilisation du sol sont liés aux concentrations foliaires en substances nutritives et avec les taux de croissance des arbres avant la fertilisation.

123. Malhotra, S.S. 1976. Effects of sulfur dioxide on biochemical activity and ultrastructural organization of pine needle chloroplasts. New Phytol. 76:239-245. (CFN)

L'auteur a mesuré, en laboratoire, les effets d'une solution aqueuse de SO_2 sur la structure fine des chloroplastes du pin, ainsi que sur leur activité photosynthétique. À des concentrations aqueuses de 100 et de 500 $\mu L.L^{-1}$, le SO_2 cause le gonflement des disques de thylakoïdes, la désintégration d'autres membranes intrachloroplastiques, entraînant ainsi la formation de petites vésicules. Les vieilles

aiguilles sont plus endommagées que les jeunes. Les paramètres biochimiques comme l'activité de la réaction de Hill mesurée sur des chloroplastes isolés à partir d'aiguilles de pin traitées au SO_2 concordent avec les observations cytologiques.

124. Malhotra, S.S. 1977. Effects of aqueous sulfur dioxide on chlorophyll destruction in *Pinus contorta*. New Phytol. 78:101-109. (CFN)

L'auteur a étudié en laboratoire les effets d'une solution de SO_2 sur la dissociation de la chlorophylle du pin de Murray. Des solutions de SO_2 dans l'eau à des teneurs de 100 à 500 ppm entraînent une forte diminution de la teneur des aiguilles en chlorophylle totale. La chlorophyllea est plus sensible à l'action du SO_2 que la chlorophylle b. Les dosages des divers pigments montrent que le SO_2 entraîne la conversion de la chlorophylle a en phaéophytine, et celle de la chlorophylle b en chlorophyllide b. L'hypothèse de la conversion de la chlorophylle en chlorophyllide déclenchée par le SO_2 est corroborée par une plus forte activité de la chlorophyllase des aiguilles du pin dans une solution diluée de SO_2. De plus, l'auteur a noté une diminution de la capacité des aiguilles du pin à fixer le $H^{14}CO_3$. Il attribue l'effet du SO_2 sur la dégradation des pigments et le taux de photosynthèse à l'action directe de ce gaz et non à une plus forte acidité.

125. Malhotra, S.S. 1979. Interim report on physiology and mechanisms of airborne pollutant injury to vegetation 1975-1978. Alberta Oil Sands Environ. Res. Program Rep. No. 45, Alberta Environ. 35 p. (CFN)

Les études biochimiques effectuées par l'auteur en enceinte climatisée indiquent que les faibles concentrations de SO_2 qui ne produisent pas normalement de dommages visibles sur le feuillage peuvent dégrader la végétation forestière en altérant le métabolisme des pigments (chlorophylle, phaéophytine et chlorophyllide), en inhibant la synthèse des lipides et les activités de divers enzymes multiples importants, et en désorganisant la structure fine des membranes cellulaires.

En général, le SO_2 en solution aqueuse ou à l'état gazeux produit des effets très semblables. Les plantes exposées au gaz sulfureux dans le cadre des normes de qualité de l'air ambiant réagissent biochimiquement en réduisant ainsi leur croissance et leur biomasse habituelle. Toutefois, de 24 à 48 heures après le transfert des plantes exposées au gaz sulfureux dans une atmosphère non polluée, ces fonctions se rétablissent en grande partie.

Les résultats obtenus jusqu'à présent indiquent clairement que le rapport chlorophylle/phaéophytine, la teneur en Mg^{2+}, la biosynthèse des lipides et les activités de la phosphatase acide et de la déshydrogénase de l'acide malique du feuillage des plantes constituent des indicateurs très sensibles des concentrations de SO_2. À l'aide de ces techniques, l'auteur s'est efforcé de détecter les dommages causés par le SO_2 au pin de Murray et à l'épinette blanche avant leur manifestation visuelle dans la zone couverte par la pollution (dans le voisinage immédiat de l'usine de la GCOS, aujourd'hui la Suncor). Malgré la présence d'un gradient des teneurs en soufre dans les échantillons recueillis, l'auteur n'a pu mettre en évidence de différences parmi les fonctions biochimiques et physiologiques réagissant au SO_2 en laboratoire. Il serait nécessaire d'entreprendre des recherches sur certaines espèces forestières plus vulnérables afin de déterminer les effets de la pollution de l'air sur les forêts.

126. Malhotra, S.S.; Addison, P.A. 1979. Interim report on symptomatology and threshold levels of air pollutant injury to vegetation, 1975-78. Alberta Oil Sands Environ. Res. Program Rep. No. 44, Alberta Environ. 13 p. (CFN)

Les auteurs ont exposé, pendant 40 jours, six espèces forestières boréales au gaz sulfureux à la concentration de 0,34 ppm dans l'air d'un phytotron de conception nouvelle, équipé d'un réglage de la teneur en SO_2. La capacité d'échange en CO_2 de toutes ces espèces a diminué graduellement, en même temps qu'apparaissait un symptôme caractéristique de la toxicité du SO_2. Parmi les espèces exposées, c'est le bouleau blanc qui est apparu le plus vulnérable à l'action du gaz sulfureux; venaient ensuite l'aulne crispé, le pin gris, le lédon du Groenland (thé du Labrador), ainsi que les épinettes blanches et noires.

127. Malhotra, S.S.; Addison, P.A.; Khan, A.A. 1980. Symptomatology and threshold levels of air pollutant injury to vegetation, 1979-80. Alberta Oil Sands Environ. Res. Program Rep. No. 109, Alberta Environ. 17 p. (CFN)

Les auteurs ont exposé un certain nombre de conifères et de feuillus poussant sur les terrils allongés de la Suncor, et âgés de 5 à 7 ans, au gaz sulfureux à la teneur de 0,034 ppm dans une enceinte climatisée. Ils ont comparé les résultats obtenus avec ceux d'expositions similaires de spécimens de la même espèce croissant dans des sols locaux non pollués. Les espèces de conifères (*Pinus banksiana*, *Picea glauca*, et *Picea mariana*) poussant dans le sable des terrils étaient beaucoup plus vulnérables à l'action du gaz sulfureux que ceux qui poussaient dans des sols locaux (brunisol dystrique). Il suffisait de les exposer pendant une durée moitié moindre pour qu'ils présentent les traces visuelles et les signes physiologiques de dommages, bien qu'ils aient été prélevés à moins de 30 m les uns des autres. Les angiospermes ligneux (*Populus tremuloides*, *Caragana arborescens*, et les *Salix*) n'ont pas fait l'objet de mesures comparatives à cause d'une panne de l'enceinte d'exposition au SO_2 au cours des essais; les auteurs n'ont pu répéter ceux-ci parce qu'ils ne disposaient pas des spécimens supplémentaires indispensables.

128. Malhotra, S.S.; Blauel, R.A. 1977. Effects of sulfur dioxide on the forest ecosystem. *In* The oil sands of Canada-Venezuela, 1977 Symposium. Can. Inst. Min. Metall., Edmonton, Alta. (CFN)

L'auteur fait le tour d'horizon de la littérature technique pertinente, et trace une vue d'ensemble des effets du gaz sulfureux sur les écosystèmes, la croissance de la végétation forestière, la teneur en chlorophylle, sa structure fine et ses fonctions biochimiques. Il fait également une étude d'impact, et indique des repères écologiques pour la surveillance biologique du sol et de la végétation. Il présente ces deux derniers domaines sous forme de méthodologie et de paramètres pour la réalisation de telles études.

129. Malhotra, S.S.; Blauel, R.A. 1980. Diagnosis of air pollutant and natural stress symptoms of forest vegetation in western Canada. Can. For. Serv. Inf. Rep. NOR-X-228. (CFN)

Les activités industrielles en Alberta, Saskatchewan, Manitoba et dans les Territoires du Nord-Ouest entraînent des rejets de polluants dans l'atmosphère, qui peuvent endommager la végétation forestière aux alentours. Les auteurs décrivent les symptômes de la présence de ces polluants et ceux des stress naturels dont l'action est semblable. Les industries dont les rejets sont étudiés comprennent les usines de désulfuration du gaz naturel, les puits d'extraction et les installations de

raffinage du pétrole, les usines d'extraction des hydrocarbures des sables bitumineux, les mines de métaux et les fonderies, les usines cimentières, les installations d'extraction de la potasse, les usines de pâtes et papiers et les usines d'engrais, ainsi que leur épandage. Le texte contient 19 pages d'illustrations en couleurs sur les symptômes dont souffre la végétation forestière.

130. Malhotra, S.S.; Hocking, D. 1976. Biochemical and cytological effects of sulfur dioxide on plant metabolism. New Phytol. 76:227-237. (CFN)

Les effets biochimiques du dioxyde de soufre découlent de son activité exceptionnelle comme agent oxydant ou réducteur. Parmi ses effets métaboliques les plus importants, les auteurs signalent une interférence directe avec la fixation du CO_2 lors de la photosynthèse (inhibition compétitive de la ribulose diphosphate carboxylase par le $SO_3^=$), ainsi qu'avec le métabolisme énergétique (inhibition de la production d'ATP des mitochondries par le $SO_3^=$). Plusieurs de ces effets indirects résultent de la formation de sulfites et de sulfonates organiques à partir d'autres composants des cellules. Il se peut que ces composés inhibent divers enzymes métaboliques multiples. Tous ces facteurs jouent probablement un rôle dans la forte désorganisation de la structure fine des chloroplastes et des mitochondries. On note des dommages quand l'absorption de dioxyde de soufre dépasse la capacité du tissu à insérer le soufre dans les activités métaboliques normales. L'omniprésence de faibles quantités de SO_2 et la nature variée et discrète de ses effets biochimiques indiquent que la pollution par le gaz sulfureux peut causer des diminutions de récoltes plus fréquentes et plus graves qu'on ne le croit généralement.

131. Malhotra, S.S.; Khan, A.A. 1978. Effects of sulfur dioxide fumigation on lipid biosynthesis in pine needles. Phytochemistry 17:241-244. (CFN)

Les auteurs montrent que les tissus des aiguilles de pin fixent l'acétate [1-^{14}C] dans leurs phospholipides, leurs galactolipides et leurs lipides neutres. Ils ont toujours observé la plus forte concentration du traceur dans la fraction phosphatidylcholine de ces lipides. La concentration du traceur dans les autres fractions de lipides varie selon l'âge et la provenance des tissus d'aiguilles (pin de Murray ou pin gris). En général, les tissus en croissance effectuent la biosynthèse de ces lipides de façon plus efficace que les tissus déjà pleinement développés. L'exposition des tissus d'aiguilles au SO_2 gazeux ou en solution inhibe fortement la biosynthèse des lipides. Ses effets sont plus prononcés dans les tissus en croissance que dans les tissus formés. L'exposition au gaz sulfureux montre que la concentration et la durée de l'exposition déterminent l'ampleur de l'inhibition de la biosynthèse des lipides. Cette capacité de biosynthèse se rétablit partiellement ou complètement quand on retire les plantes du milieu contenant du SO_2. Les plantes exposées à des concentrations modérées de SO_2 dans l'air (de 0,18 à 0,20 $\mu L.L^{-1}$) pendant 24 h se rétablissent plus rapidement que celles qui ont été exposées à des concentrations presque létales de SO_2 (de 0,34 à 0,37 $\mu L.L^{-1}$) pendant seulement 1 h.

132. Malhotra, S.S.; Khan, A.A. 1980a. Physiology and mechanisms of air-borne pollutant injury to vegetation 1979-80. Alberta Oil Sands Environ. Res. Program Rep. No. 110, Alberta Environ. 44 p. (CFN)

Les auteurs ont étudié plusieurs fonctions biochimiques importantes d'un lichen épiphyte, *Evernia mesomorpha*, exposé au SO_2 dans des conditions réglées. Ils ont observé des changements appréciables dans ces fonctions, même à une très faible concentration de SO_2 dans l'air (0,1 ppm), ce qui indique que les lichens épiphytes sont probablement l'une des espèces les plus vulnérables à l'exposition au SO_2.

L'exposition de ces lichens au gaz sulfureux à la concentration de 0,34 ppm dans l'air pendant 3 à 7 jours cause des dommages irréversibles à presque toutes les fonctions biochimiques étudiées.

L'exposition dans des conditions réglées d'espèces vasculaires à de faibles concentrations de gaz sulfureux et de NO_2 dans l'air cause d'importants changements dans plusieurs fonctions biochimiques et physiologiques; dans plusieurs cas, cette exposition ne produit pas d'effet visible d'intoxication par des polluants. Chez l'aulne, des indicateurs biochimiques comme la péroxydase et la glycollate-oxydase présentent une réaction synergique et la ribulose-diphosphate-carboxylase, une réaction additive à un mélange SO_2-NO_2. Ces enzymes, quand ils proviennent du pin ou du bouleau, ne montrent qu'une réaction additionnelle minime ou nulle à ce mélange, par comparaison avec celle que produit chaque polluant isolément.

Les polluants métalliques comme le vanadium et le nickel montrent une forte toxicité pour plusieurs processus cellulaires. La plus forte réaction biochimique a été obtenue avec des métaux seuls, puis avec le SO_2. Le mélange de polluants (métal + SO_2) ne produit qu'une réaction additionnelle très faible par comparaison à celle produite par les métaux isolément.

Les auteurs ont utilisé des méthodes biochimiques et physiologiques mises au point en laboratoire pour détecter l'endommagement, avant qu'il ne devienne visible, des pins gris et des lichens épiphytes très sensibles aux polluants atmosphériques provenant de l'extraction des hydrocarbures des sables bitumineux. Les fonctions biochimiques examinées ne présentent pas de différences significatives d'une station à l'autre, à des distances variables de la source de polluant. Les auteurs estiment que l'absence de réaction est due à l'aptitude de la végétation à rétablir ses fonctions métaboliques entre les rares épisodes de forte exposition au gaz sulfureux. Il est possible que certains effets minimes de la pollution soient masqués, le cas échéant, par la variabilité naturelle entre les stations.

133. Malhotra, S.S.; Khan, A.A. 1980b. Effects of sulfur dioxide and other air pollutants on acid phosphatase activity in pine seedlings. Biochem. Physiol. Pflanzen 175:228-236. (CFN)

Les auteurs ont observé que l'activité de la phosphatase acide (EC 3.1.3.2) dans des aiguilles de semis de pins gris (*Pinus banksiana*) âgés de six mois était beaucoup plus forte que celle observée dans les aiguilles de semis de trois mois. Les enzymes solubles à faible énergie de liaison (extractibles par une solution saline) donnent le même profil d'électrophorèse, ce qui indique que ces enzymes sont largement similaires. Le traitement des semis de pins par le gaz sulfureux inhibe l'activité de la phosphatase acide. Après exposition des semis au gaz sulfureux à la concentration de 0,35 $\mu L.L^{-1}$ d'air pendant 24 h, l'inhibition était plus prononcée dans les tissus plus âgés (3 mois) que dans les tissus plus jeunes (1 mois) des mêmes semis. Après que les plants eurent été retirés du milieu contenant le SO_2, ses effets d'inhibition ont disparu complètement chez les plants exposés pendant de courtes périodes (1 h), mais ils sont restés inchangés chez les plants exposés pendant de longues périodes (24 h). Parmi les autres polluants essayés, le fluorure, le zinc, l'arséniate, l'aluminium et le cuivre ont montré leur forte action inhibitrice sur l'activité enzymatique.

134. Malhotra, S.S.; Khan, A.A. 1981. Effects of SO_2 and heavy metals on *Pinus banksiana*. Proc. XI IUFRO World Congr. 137:299-307. (CFN)

Les auteurs ont observé que l'exposition de semis de pins à des solutions de métaux lourds (vanadium et nickel) soit seules, soit combinées avec du SO_2, entraîne l'absorption de métaux, des perturbations biochimiques et l'apparition de plusieurs symptômes d'endommagement grave. Certains polluants métalliques comme le vanadium et le nickel, combinés au SO_2, apparaissent comme fortement toxiques pour divers processus métaboliques (biosynthèse des glyco- et des phospholipides, ou pour les activités de la ribulose-diphosphate-carboxylase, de la péroxydase, de la glycollate-oxydase et de la phosphatase acide). En général, les mélanges de polluants (métal + SO_2) ne produisent pas de réaction beaucoup plus marquée que celle qui est causée par la présence de métaux seuls. La réaction de diverses fonctions biochimiques à chacun des polluants semble être en rapport avec l'absorption des polluants par les tissus traités.

135. Malhotra, S.S.; Khan, A.A. 1983. Sensitivity to SO_2 of various metabolic processes in an epiphytic lichen *Evernia mesomorpha*. Phytochemistry 178:121-130. (CFN)

Chez le lichen épiphyte *Evernia mesomorpha* Nyl., les auteurs ont observé que des processus métaboliques comme la fixation photosynthétique du CO_2, ainsi que la biosynthèse des protéines et les lipides, sont très sensibles au SO_2. L'exposition des lichens au gaz sulfureux à des concentrations de 0,1 ppm dans l'air pendant des périodes prolongées produit un ralentissement progressif de ces processus. C'est la biosynthèse des protéines qui semble être la plus sensible au SO_2. L'exposition des tissus des lichens au gaz sulfureux à la concentration de 0,34 ppm dans l'air, pendant des périodes prolongées, cause un effet phytotoxique plus grave sur chacun de ces trois processus métaboliques. Ces expositions au gaz sulfureux inhibent également l'activité de la phosphatase acide et causent une augmentation de la teneur en soufre des tissus. Pendant une période sans SO_2 suivant l'exposition, tous les processus métaboliques des lichens exposés au gaz sulfureux à la teneur de 0,1 ppm dans l'air se rétablissent, parfois partiellement; mais chez les lichens exposés au gaz sulfureux à la teneur de 0,34 ppm dans l'air, ce rétablissement est faible ou nul.

136. Malhotra, S.S.; Khan, A.A. 1984. Biochemical and physiological impact of major pollutants. Pages 113-157 *in* M. Treshow, ed., Air pollution and plant life. John Wiley & Sons Ltd., New York, NY. (CFN)

La plupart des plantes vivent dans un milieu surtout gazeux. Quand les composants de cet environnement dépassent la limite critique d'adaptabilité et de tolérance des plantes, il s'ensuit des stress qui affectent l'état des membres les plus sensibles de l'écosystème. Tout gaz dépassant sa concentration plafond peut causer de tels stress. Quel que soit le polluant atmosphérique concerné, il produit alors des interactions avec l'un ou l'autre des processus métaboliques biochimiques. Les stomates et les cellules réniformes sont les premiers à être touchés; ils seront les premiers à réagir s'ils sont suffisamment sensibles. Le gaz pénètre ensuite dans les espaces intercellulaires et se dissout sur les surfaces internes humides; d'habitude, il entre en interaction avec les membranes cellulaires et modifie le pH intracellulaire. Le polluant ayant pénétré dans la membrane cytoplasmique peut ensuite attaquer aisément les organelles à l'intérieur et les substances à l'entour. Il peut réagir avec un certain nombre de métabolites au cours de sa migration à travers la cellule. Par conséquent, de nombreux sièges de réactions peuvent être créés, et le sont souvent.

Les processus affectés dépendent des propriétés et de la forme chimique du polluant, et certains sièges et réactions semblent particulièrement vulnérables aux perturbations; parmi ceux-ci, notons les membranes dont la perméabilité peut être

altérée, les réactions photosynthétiques, par exemple celles de photophosphorylation et de carboxylation et, enfin, le transport des électrons et la respiration. Les capitaux métaboliques sont touchés, et plus particulièrement les glucides, les acides organiques et aminés, les protéines et les lipides, mais les caractéristiques particulières des modifications varient selon le polluant.

137. Malhotra, S.S.; Sarkar, S.K. 1979. Effects of sulfur dioxide on sugar and free amino acid content of pine seedlings. Physiol. Plant. 47:223-228. (CFN)

Les auteurs ont observé que l'exposition des semis de pins gris (*Pinus banksiana* Lamb.) au gaz sulfureux entraîne une modification des proportions entre les sucres réducteurs et non réducteurs. Le gaz sulfureux en concentrations croissantes cause une augmentation des sucres réducteurs et une diminution des sucres non réducteurs, ce qui indique une conversion de ceux-ci en ceux-là aux fortes concentrations de SO_2. La teneur en acides aminés totaux des tissus intacts augmente également en fonction directe de la concentration du gaz sulfureux. Des analyses par chromatographie gaz-liquide des acides aminés indiquent que le SO_2 (à la concentration de 2,34 mg/m^3 d'air pendant 96 h) cause une augmentation de la teneur en tyrosine, en lysine et en arginine, et une diminution de la teneur en sérine et en acide glutamique. Les auteurs décrivent les conséquences de ces changements sur le plan des enzymes et d'autres répercussions.

138. Martel, J.P. 1983. Caractéristiques physiques et hydrologiques, et bilan hydrique de la matière organique d'une sapinière laurentienne au lac Laflamme, forêt de Montmorency. Mémoire de maîtrise, Univ. Laval, Québec. Contrat LFC/CFS. 88 p. (CFL)

L'auteur a échantillonné la couche de matières organiques du sol d'une sapinière laurentienne dans la forêt de Montmorency, à 80 km au nord de Québec, afin de déterminer ses caractéristiques physiques et hydrologiques (chapitre I), et son bilan hydrique (chapitre II).

Dans la première partie, l'auteur évalue l'épaisseur, le poids, la densité et diverses caractéristiques hydrologiques de la couche organique, et détermine si ces caractéristiques varient à l'intérieur de l'unité d'expérimentation.

Il a échantillonné la matière organique totale et la matière organique de chaque horizon dans l'ensemble du bassin-versant du lac Laflamme, et a constaté que l'épaisseur moyenne, la densité apparente (à sec) et le poids sec à l'hectare étaient de 7,8 cm, 0,108 g/cm^3 et 81,8 tonnes/ha, respectivement. Ces paramètres ne varient pas sensiblement à l'intérieur du bassin-versant.

À l'aide des calculs théoriques et des résultats d'expériences menées sur place et en laboratoire, il a tracé le profil de rétention d'eau par le sol, dont il a estimé les capacités au champ, le degré de saturation théorique, la capacité de rétention théorique, la capacité de rétention hydrique et les teneurs minimale et maximale en eau à 2,08, 7,18, 5,09, 2,61, 0,61 et 3,22 cm, respectivement. L'auteur compare ces résultats à ceux obtenus dans d'autres peuplements de conifères.

Dans la deuxième partie, l'auteur compare les teneurs en eau mesurées sur place à d'autres obtenues à l'aide du modèle de van Wagner, et modifie ce modèle pour l'adapter aux conditions de l'unité d'expérimentation.

Il a mesuré, au cours de trois étés, les teneurs en eau de la matière organique à l'aide de ponts de Wheatstone placés dans les trois placettes d'échantillonnage, et a comparé les chiffres obtenus avec ceux fournis par le modèle de van Wagner utilisé pour calculer l'indice forêt-météo. L'auteur a adapté ce modèle aux conditions du bassin-versant du lac Laflamme, pour faciliter l'évaluation de la teneur en eau des matières organiques à l'aide des paramètres météorologiques normalisés comme les précipitations, l'humidité relative et la température de l'air. Dans l'ensemble, le modèle modifié fournit une bonne évaluation de la teneur du sol en eau.

139. Maynard, D.G., et Addison, P.A. 1985. Extraction and colorimetric determination of elemental sulfur in organic horizons of forest soils. Can. J. Soil Sci. 65:811-813. (CFN)

Les auteurs décrivent une méthode pour le dosage du soufre élémentaire dans les horizons organiques des sols forestiers. Ils extraient le soufre élémentaire à l'acétone et le dosent par colorimétrie. Cette technique s'inspire de plusieurs méthodes connues, et permet d'extraire le soufre élémentaire sous toutes ses formes. Elle permet également de réduire les perturbations dues aux extraits colorés de la litière. Son seuil de détection est de 100 $mg.kg^{-1}$ (1 mg $S^{o}.mL^{-1}$ de solution), et les auteurs ont pu mesurer des concentrations dépassant 50 000 $mg.kg^{-1}$. La récupération de S^{o} atteint environ 90 %. Cette méthode convient au dosage du S^{o} dans les sols forestiers organiques où sa teneur varie fortement et quand il n'est pas nécessaire d'atteindre un degré de précision élevé. Elle est rapide et convient pour les analyses répétitives dans les laboratoires dépourvus de matériel spécialisé.

140. Maynard, D.G.; Addison, P.A. 1986. Variability in forest systems as it relates to elemental sulphur effects. Pages 255-285 *in* Proc. 2nd Symp./Workshop on Acid Forming Emissions in Alberta and their Ecological Effects. Res. Manage. Div., Alberta Environ., Edmonton, Alta. 354 p. (CFN)

En 1981, les auteurs ont entrepris un programme d'études de cinq ans sur les effets des rejets des usines de désulfuration du gaz acide sur l'écosystème forestier de la région centre ouest de l'Alberta. Ils ont mis sur pied un réseau de surveillance biologique dans une zone de 30 km de côté entourant les usines de désulfuration de Strachan et de Ram River. De plus, ils ont entrepris des études approfondies sur les mécanismes et l'importance de l'impact du S^{o} particulaire sur les sols et la végétation de cette zone. Les auteurs présentent certains des résultats de cette étude et calculent la variabilité de ces paramètres écologiques, ainsi que son importance pour la surveillance biologique.

Les auteurs ont mis au point une technique de dosage du soufre élémentaire (S^{o}) dans les sols et d'évaluation des retombées de S^{o}. Ils ont constaté que les retombées aux alentours de l'usine de désulfuration étaient beaucoup moins abondantes que celles qui ont dû survenir auparavant pour produire les concentrations de S^{o} dans l'horizon organique superficiel (couches L-F-H). Ils ont observé des changements notables des caractéristiques chimiques du sol et de la couverture végétale dans ces emplacements ayant reçu de fortes retombées de S^{o}. Cependant, il leur a été plus difficile d'évaluer les changements dus à de faibles concentrations de S^{o} (< 5 000 $mg.kg^{-1}$).

La variabilité aléatoire ou naturelle des sols, dans un cadre régional, atteignait de 24 à 102 %. La variabilité spatiale était la principale composante de la variabilité répartie; toutefois, les auteurs ont également observé une importante composante régionale. La variabilité chronologique des paramètres du sol mesurés

n'était habituellement pas importante. À cause de la forte variabilité des sols, les auteurs n'ont considéré comme notables que des concentrations de l'ordre de 50 % ou plus. Les erreurs possibles d'évaluation de la couverture végétale étaient élevées (20 %) et il aurait fallu que les changements de la couverture végétale entre les périodes d'échantillonnage dépassent 20 %, pour qu'il soit possible de les interpréter. Les mesures de croissance étaient elles-mêmes tout aussi variables.

141. Maynard, D.G.; Addison, P.A.; Kennedy, K.A. 1983a. Elemental sulfur dust deposition on soils and vegetation of lodgepole pine stands in west-central Alberta. *In* R.W. Wein, R.R. Riewe, and I.R. Methven, eds., Resources and Dynamics of the Boreal Zone. Proc. of a conference held at Thunder Bay by Canadian Universities for Northern studies. (CFN)

Les auteurs ont étudié les répercussions des retombées de poussières de soufre élémentaire sur la végétation forestière et les sols de quatre stations utilisées pour les besoins d'un plus vaste programme de surveillance biologique des effets du soufre dans la région centre ouest de l'Alberta. Tous les horizons du sol des deux stations situées près des sources (< 200 m) de pollution sulfureuse contiennent des concentrations en soufre total et en soufre soluble notablement plus élevées dans les 20 cm de la couche superficielle. La présence du soufre a provoqué une diminution du pH et une réduction de la concentration totale de Mg, K et Mn dans les couches L-F-H. Les retombées de S sur la végétation éliminent presque complètement les mousses et réduisent la couverture herbeuse. Les auteurs continuent des recherches sur les facteurs réglant l'oxydation du soufre élémentaire dans le sol, sur les effets de la poussière de S sur les processus pédologiques comme le lessivage des substances nutritives et les réactions de la végétation aux changements de composition chimique du sol.

142. Maynard, D.G.; Addison, P.A.; Kennedy, K.A. 1983b. Impact of elemental sulfur dust deposition on soils and vegetation of *Pinus contorta* stands in west-central Alberta, Canada. Aquilo Ser. Bot. 19:314-325. (CFN)

Les auteurs ont étudié les effets de l'addition de soufre élémentaire sur la végétation et les sols forestiers de quatre stations utilisées pour les besoins d'un plus vaste programme de surveillance biologique des effets du soufre dans la région centre ouest de l'Alberta. Tous les horizons du sol des deux stations situées près des sources de pollution sulfureuse (< 200 m) contiennent des concentrations en soufre total et en soufre soluble notablement plus élevées dans les 20 cm de la couche superficielle. La présence de soufre a provoqué une diminution du pH, et une perte de Mg et de Mn dans les couches L-F-H. La végétation avait apparemment réagi à la diminution du pH et on notait une réduction marquée de la couverture et un appauvrissement de la communauté végétale. Le grand nombre de terrils sulfureux en Alberta (> 100) et l'ampleur des réactions de l'écosystème soulignent l'importance de cette question pour les futurs programmes de recherches.

143. Maynard, D.G.; Germina, J.J.; Addison, P.A. 1985. The effects of elemental sulfur on certain chemical and biological properties of surface organic horizons of a forest soil. Can. J. For. Res. 16:1050-1054. (CFN)

La désulfuration du gaz acide en Alberta, Canada, donne du soufre élémentaire comme sous-produit. La dissociation et la météorisation des terrils de stockage du soufre ont entraîné d'importantes retombées de S^0 dans les écosystèmes forestiers adjacents. Il en est résulté de sérieux dommages à la végétation en sous-étage. Les auteurs ont examiné, au cours d'une période de deux ans, certaines caractéristiques

chimiques et biologiques des horizons organiques superficiels (L-F-H) exposés au S^0 pendant plusieurs années. Ils ont trouvé des concentrations croissantes de S^0 et de S extractible par le NH_4Cl à 0,1 mol, et un pH décroissant dans la couche L-F-H en fonction de la proximité (750, 250 et 50 m) de la source de S^0. Il semble que le *Thiobacillus thiooxidans* soit le principal micro-organisme responsable de l'oxydation du S^0 dans tous les échantillons de la couche L-F-H. Dans l'emplacement le plus proche du terril sulfureux (à 50 m) les auteurs ont trouvé une concentration réduite de P, Mn, K, Mg et Ca totaux et extractibles par le NH_4Cl à 1,0 mol. En outre, au cours de la seconde année d'échantillonnage, les auteurs ont noté une réduction notable du dégagement de CO_2 dans les échantillons non traités et traités au glucose. Ils n'ont pas observé de diminution notable des agents fertilisants et de l'activité microbiologique aux autres points d'échantillonnage. Jusqu'à présent, aucun ralentissement de la croissance des arbres n'a été relevé. Cependant, les résultats des travaux montrent qu'une réduction de la productivité forestière pourrait découler de l'oxydation du S^0, réduisant le pH, les quantités d'agents fertilisants et les activités biologiques dans la couche L-F-H.

144. Maynard, D.G.; Kalra, Y.P.; Radford, F.G. 1987. Extraction and determination of sulfur in organic horizons of forest soils. Soil Sci. Soc. Am. J. 51:801-806. (CFN)

Nous ne disposons que de très peu de données sur l'exactitude des mesures et la forme chimique du soufre extractible dans les sols forestiers organiques superficiels (couches L-F-H). Les auteurs ont essayé plusieurs solvants pour l'extraction et le dosage des sulfates ($S\text{-}SO_4$) et du soufre extractible total dans cinq couches L-F-H. Les dosages du $S\text{-}SO_4$ et du S extractible total ont été effectués par chromatographie d'absorption ionique et par spectrométrie d'émission d'un plasma d'argon à couplage inductif, respectivement. Tous les solvants constitués de solutions salines peu concentrées permettent d'extraire des quantités semblables de $S\text{-}SO_4$ et de S extractible total. Toutefois, c'est la solution à 0,01 mol de NH_4Cl qui donne le moins de variations et les résultats les plus cohérents. Sa précision va de 1,9 à 8,4 % pour les analyses spectrométriques, et de 3,7 à 8,9 % pour les analyses chromatographiques, à l'exclusion des couches L-F-H du peuplement de trembles. Les auteurs ont obtenu des rendements quantitatifs de 102 à 108 % et de 97 à 108 % à l'aide de la solution à 0,01 mol de NH_4Cl par les méthodes chromatographique et spectroscopique, respectivement. Ils ont obtenu de moins bons résultats avec l'eau, parce que celle-ci extrait plus de S organique que les solutions salines, qu'elle présente le plus de variations lors de l'analyse par chromatographie d'absorption ionique et qu'elle donne des résultats peu cohérents.

La précision insuffisante du dosage du $S\text{-}SO_4$ des couches L-F-H du peuplement de trembles était due à l'élution d'un pic inconnu adjacent à celui du soufre. On pourrait peut-être éliminer ce pic en changeant la phase mobile ou en modifiant la colonne anionique.

145. Maynard, D.G.; Stewart, J.W.B.; Bettany, J.R. 1984. Sulfur cycling in grassland and parkland soils. Biogeochemistry 1:97-110. (CFN)

Les auteurs présentent un diagramme théorique du cycle du S dans les sols de prairie comme base du débat sur les analyses de ce cycle. Ils ont étudié certains changements dans la minéralisation du S et dans la répartition du sulfate marqué par du ^{35}S dans les fractions de matières organiques du sol au cours de l'incubation de sols cultivés et non cultivés.

Les auteurs n'ont guère observé de minéralisation ou de fixation nette du soufre dans des sols non perturbés, pendant leur incubation en circuit fermé. Une quantité beaucoup plus forte de S est minéralisée lors d'une incubation en circuit ouvert, où le sol est lessivé périodiquement. La minéralisation nette est notablement plus grande dans les sols cultivés que dans les sols non cultivés. La répartition du ^{35}S est notablement modifiée par l'addition de plusieurs substrats (sulfates, cellulose ou une combinaison des deux), ainsi que par la présence de plantes. Les auteurs ont observé qu'en présence d'une solution de sulfates très concentrée, la plus grande partie du ^{35}S se fixe dans la fraction du S réductible par le HI. Quand les concentrations des solutions de sulfates sont plus faibles, cette proportion diminue. Les auteurs analysent les résultats de ces expériences dans le cadre des hypothèses présentées par McGill et Cole (1981) et du diagramme théorique du cycle du S dans les sols de prairie.

146. Maynard, D.G.; Steward, J.W.B.; Bettany, J.R. 1985. The effects of plants on soil sulfur transformations. Soil Biol. Biochem. 17:127-134. (CFN)

Les auteurs ont observé les modifications du taux de minéralisation du S et de la répartition du sulfate marqué par du ^{35}S entre les fractions de matière organique au cours de l'incubation de sols cultivés et non cultivés. La minéralisation nette est beaucoup plus forte dans les sols cultivés que dans les sols non cultivés. La répartition du ^{35}S est surtout influencée par l'addition de sulfates ou de cellulose ou d'une combinaison des deux, et par la présence de plantes. Quand la concentration de la solution de sulfates est forte, la plus grande partie du ^{35}S fixé par la matière organique du sol se trouve dans la fraction du S réductible par le HI. Quand les concentrations de sulfates des solutions de sol sont réduites par l'absorption des plantes ou par l'addition de cellulose, il se produit une réduction du ^{35}S fixé dans la fraction du S réductible par le HI.

147. Millers, I. 1988. North American Sugar Maple Decline Project, Cooperative Work Plan. 8 p. -- Cooperative Field Manual. 17 p. Can. For. Serv./U.S. Dep. Agric. For. Serv. (SCF-AC)

Certains exposés récents sur la détérioration et la disparition des érablières dans l'est de l'Amérique du Nord ont suscité un vif intérêt pour les causes de ce phénomène et sa répartition géographique. Afin de répondre à ces préoccupations grâce à une meilleure connaissance de ce problème, l'Eastern Harwoods Research Cooperative entreprend un effort de recherche approprié, de concert avec le Service canadien des forêts. Cet effort s'inscrira dans le cadre de l'actuel «Protocole d'entente entre le Department of Agriculture des É.-U. et Agriculture Canada pour leur collaboration à la réalisation de programmes intéressant la foresterie», ainsi que de l' «Accord de travail» signé par le Service canadien des forêts et le Forest Service des É.-U., dans le cadre du Protocole ci-dessus, et concernant les Recherches sur le dépérissement de l'érable à sucre -- Plans de travail pour le projet réalisé en commun.

Comme certains exposés portant sur le dépérissement de l'érable à sucre incriminent les précipitations acides et d'autres formes de retombées atmosphériques, il est indispensable que les autorités fédérales et provinciales (ou celles des États des É.-U.) puissent faire l'analyse critique de ce problème. Il leur faudra connaître la répartition géographique et le processus chronologique du dépérissement pour mieux comprendre l'éventail complexe des facteurs qui interviennent dans ce phénomène.

Pour incriminer tout facteur isolé ou combinaison de facteurs, il est indispensable de connaître la valeur des retombées atmosphériques aux emplacements touchés, ainsi que toute la gamme des autres facteurs biotiques et abiotiques qui interviennent.

Voici les objectifs du premier programme s'inscrivant dans le cadre de l'Accord de travail; il devra :

1. déterminer le taux de changement des paramètres d'état sanitaire des érables de 1988 à 1990;

2. déterminer si le taux de changement des paramètres d'état sanitaire des érables à sucre varie selon :
   a) les divers niveaux de pollution, mesurés par l'accumulation des retombées humides;
   b) qu'il s'agit d'érablières et ou de forêts non perturbées;
   c) les différents niveaux de vieillissement du peuplement au début des travaux,

3. déterminer les causes possibles du dépérissement de l'érable à sucre et les rapports géographiques entre ces causes et l'ampleur de ce dépérissement.

Le projet proposé complétera les programmes déjà entrepris par les divers organismes collaborant à l'effort de recherches, et il fournira l'occasion d'évaluer de concert le phénomène du dépérissement de l'érable à sucre dans une gamme de conditions plus vaste que celle offerte par tout État ou province.

Un plan de travail commun normalisera le recueil et l'analyse des données. On désignera des placettes dans les États et provinces collaborant au programme, de façon à répartir équitablement la charge de travail et à atteindre les objectifs désignés. On mettra au point des méthodes de travail sur le terrain au cours de la saison de 1987. Les placettes d'échantillonnage seront circonscrites en 1988 et mesurées deux fois. Après désignation des placettes, on entreprendra les recherches sur les anomalies constatées à mesure des besoins.

148. Mitchell, M.J.; Davis, M.D.; Maynard, D.G.; Telang, S.A. 1986. Sulfur constituents in soils and streams in the Rocky Mountains of Alberta. Can. J. For. Res. 16:315-320. (CFN)

Les auteurs ont mesuré les teneurs en soufre des sols et des eaux courantes du bassin-versant Marmot des Montagnes Rocheuses, en Alberta. Leur teneur en soufre total couvre une plage allant de 2,5 à 49,8 $\mu mol.g^{-1}$ en poids sec; le C combiné au carbone et les esters sulfuriques en sont les principales formes (de 67 à 68 % et de 5 à 32 % de soufre total, respectivement) alors que les sulfates n'en contribuent que de 0,1 à 8,1 %. Le soufre organique constitue de 12 à 21 % du soufre total des eaux courantes. Les fortes concentrations de sulfates (de 93 à 355 $\mu mol.L^{-1}$), de Ca (de 763 à 1 075 $\mu mol.L^{-1}$), de Mg (de 387 à 765 $\mu mol.L^{-1}$) et de C (de 1 930 à 4 160 $\mu mol.L^{-1}$) dans les eaux courantes proviennent du météorisme des minéraux. Les apports atmosphériques de S au ruisseau Marmot sont beaucoup plus faibles que dans les écosystèmes forestiers recevant des retombées acides. Les auteurs ont dressé un bilan hydrique provisoire montrant l'importance de la météorisation des roches et du S organique dans ce bassin-versant. L'analyse des eaux, au long du profil d'un des affluents (le ruisseau Middle) montre qu'une partie des sulfates est retenue sous forme organique dans la partie terrestre de l'écosystème. Le comportement de ces composés organiques du soufre exerce une influence prédominante sur la migration du

S au sein de certains écosystèmes forestiers, en raison de leur rôle dans les processus de minéralisation et de fixation.

149. Morrison, I.K. 1983a. Composition of percolate from reconstructed profiles of two jack pine forest soils as influenced by acid input. Pages 195-206 dans B. Ulrich et J. Pankrath, dir. de publ. Effects of accumulation of air pollutants in forest ecosystems. D. Reidel Publ. Co., Dordrecht, Pays-Bas. (GLFC)

L'auteur a reconstitué deux sols de sables fluvio-glaciaires sous forêt naturelle de pins gris (*Pinus banksiana* Lamb.) d'âge moyen du nord de l'Ontario, dans des lysimètres à colonnes de 1 mètre auxquels il a ajouté du H_2SO_4 dilué au cours d'une période de 4,5 années. Il a mesuré le volume du percolat, son pH, sa conductivité électrique et les concentrations de SO_4^{2-}, K^+, Na^+, Ca^{2+}, Mg^{2+}, ainsi que de plusieurs oligo-éléments métalliques. Les résultats indiquent l'existence d'un processus séquentiel d'exportation des éléments : en premier lieu, les sols disposent d'un pouvoir de rétention considérable, la migration du SO_4^{2-} étant gêné par une forte adsorption des ions SO_4^{2-}; ensuite, la capacité d'échange cationique pour le SO_4^{2-} devient saturée et les bases se déplacent librement avec les ions SO_4^{2-}; enfin, quand les bases sont épuisées, les ions H^+ dominent de plus en plus la solution du sol, et les oligo-éléments métalliques se trouvent mobilisés.

150. Morrison, I.K. 1984a. Acid rain: A review of literature on acid deposition effects in forest ecosystems. For. Abstr. 45:483-506. (CFGL)

L'auteur passe en revue la littérature scientifique de la dernière décennie portant sur les effets des précipitations acides dans les écosystèmes forestiers, surtout en matière de productivité forestière. Il analyse les résultats d'études dendrométriques et d'autres études sur place portant principalement sur l'accroissement des arbres. Les sujets abordés comprennent l'endommagement du feuillage et autres par les crachins acides artificiels, le lessivage des minéraux des frondaisons par la pénétration des pluies acides, les effets de l'acidification artificielle du sol sur les organismes qui y vivent et sur les processus biologiques, le lessivage des cations basiques et ses rapports avec la teneur en SO_4^{2-}, la mobilisation des oligo-éléments métalliques, ainsi que les liens possibles entre les précipitations acides et la propagation des maladies fongiques et des insectes. En s'appuyant sur la littérature technique actuelle, on ne peut affirmer catégoriquement que les retombées acides ont ou non un effet fâcheux sur la croissance forestière. Toutefois, on a prouvé d'autres conséquences, tels un plus fort lessivage des frondaisons, un lessivage des éléments fertilisants à cause de la présence de SO_4^{2-} et la mobilisation de certains oligo-éléments métalliques. L'auteur considère les relations des précipitations acides avec la productivité forestière.

151. Morrison, I.K. 1984b. Acid rain, forests and forestry. Pages 209-219 dans E.L. Stone, dir. de publ. Forest soils and treatment impacts. Proc. 6th North American Forest Soils Conf., juin 1983, Univ. Tennessee, Knoxville, TN. (CFGL)

L'auteur passe rapidement en revue des articles choisis de la littérature scientifique de la dernière décennie concernant les retombées acides et leur influence possible sur la santé et la productivité de la forêt. Les sujets abordés incluent la mesure directe de la croissance forestière, des expériences d'aspersion par de l'eau acidulée, le lessivage des minéraux des frondaisons par les pluies acides, le pouvoir d'absorption du sol et les processus biologiques, l'acidification des sols et le lessivage des cations basiques, ainsi que la mobilisation des oligo-éléments métalliques.

D'après les données recueillies, il n'est pas encore possible d'affirmer catégoriquement que les pluies acides ont un effet notable sur la santé ou la croissance des forêts.

152. Morrison, I.K. 1985. Effects of crown position on foliar concentrations of 11 elements in *Acer saccharum* and *Betula alleghaniensis* trees on a till soil. Can. J. For. Res. 15:179-183. (CFGL)

L'auteur a mesuré les concentrations de N, P, K, Ca, Mg, S, Fe, Mn, Zn, Cu et Na dans les feuilles complètes prélevées en août 1981 dans des emplacements choisis du houppier de 15 *Acer saccharum* Marsh. et de 10 *Betula alleghaniensis* Britton croissant en peuplement dense dans une moraine glaciaire d'origine précambrienne, dans le nord de l'Ontario. Les concentrations de K, Ca, Mg, Fe, Zn et Na étaient notablement plus fortes dans les feuilles basses du houppier des *Betula alleghaniensis*, mais l'auteur n'a pu trouver de différences sensibles entre les concentrations des autres éléments, attribuables à l'emplacement de l'échantillon. L'auteur a noté des concentrations en général plus élevées dans les feuilles de tous les emplacements du houppier chez les arbres intermédiaires, par comparaison avec les codominants; cependant ces différences n'étaient pas notables, ou ne l'étaient que faiblement. Les variations de concentrations d'un arbre à l'autre étaient plus faibles pour les feuilles du bas et du milieu du houppier que pour les feuilles du sommet. Il faudrait en général échantillonner les feuilles de 30 arbres par peuplement d'une espèce ou de l'autre pour maintenir l'écart-type à $\pm$ 10 % de la moyenne de l'effectif examiné, si l'on se contente de doser N, P, K, Ca, Mg, et de 40 à 70 arbres par peuplement si l'on veut doser également des oligo-éléments tels que le Mn.

153. Morrison, I.K. 1988a. Biomass and macroelements in a tolerant hardwood stand, Turkey Lakes Watershed, Ontario. *In* P.J. Rennie et G. Robitaille, directeurs de publication, Effets des précipitations acides sur les ressources forestières. Compte rendu du symp. tenu à Québec, 1983 (sous presse). (CFGL)

L'auteur présente des données sur la répartition de la biomasse des peuplements forestiers et sur les teneurs en azote (N), phosphore (P), potassium (K), calcium (Ca), magnésium (Mg), et soufre (S) des différentes parties des arbres (feuillage, branches vivantes, branches mortes, écorce du tronc, bois de fût, souche et racines) d'un vieux peuplement d'érables à sucre (*Acer saccharum* Marsh.) à bouleaux jaunes (*Betula alleghaniensis* Britton) poussant dans une moraine peu profonde, acide, issue de roches précambriennes dans le bassin-versant des lacs Turkey en Ontario. L'élément le plus abondant dans ce peuplement était le Ca, suivi par N > K > Mg > S > P. L'auteur présente aussi, pour la même station, une évaluation, faite sur une base triennale, du dépôt annuel de litière et de la migration annuelle des éléments fertilisants de la végétation vers le sol par ce véhicule. L'élément le plus abondant dans le dépôt de litière était le N, suivi par Ca > K > Mg > S > P. L'auteur présente aussi des données sur la répartition de la matière organique totale et des éléments fertilisants dans la couverture morte du peuplement étudié. L'ordre décroissant des éléments y était : N > Ca > S > K > Mg > P. Il décrit le rôle du dépôt de litière sur le réapprovisionnement du sol en cations absorbés par les plantes ou exportés par lessivage.

154. Morrison, M.K. 1988b. Effects of artificial acid rain on percolate chemistry of two jack pine forest soils. *In* P.J. Rennie et G. Robitaille, directeurs de publication, Effets des précipitations acides sur les ressources forestières. Compte rendu du symp. tenu à Québec, 1983 (sous presse). (CFGL)

L'auteur a reconstitué deux sols de sables fluvio-glaciaires acides sous peuplement naturel de pins gris (*Pinus banksiana* Lamb.) d'âge moyen, du nord de l'Ontario, dans des lysimètres à colonnes de 1 mètre conservés dans un compartiment de serre. Pendant 5,5 années, il a aspergé hebdomadairement les sols, un podzol humo-ferrique du canton de Wells, avec de l'eau acidifiée avec du H_2SO_4 aux pH 2, 3 et 4 et une pluie artificielle témoin consistant d'eau distillée au pH 5,7. L'aspersion était équivalente à une accumulation annuelle de pluie de 1 000 mm. L'auteur a recueilli les percolats et en a fait la somme chaque semaine; toutes les quatre semaines, il mesurait le pH, la conductivité électrique et les concentrations de SO_4^{2-}, K^+, Na^+, Ca^{2+}, Mg^{2+}, et de plusieurs oligo-éléments, y compris Al, Mn et Zn. Son objectif était d'interpréter les réactions au sein du sol, grâce au dosage des percolats, en accordant une attention particulière au déroulement chronologique des phénomènes.

Les résultats de ces expériences indiquent l'existence d'un processus séquentiel d'exportation des éléments : tout d'abord, les sols, et particulièrement le podzol humo-ferrique, disposent d'un fort pouvoir de rétention des cations basiques, la migration du SO_4^{2-} étant également gênée par cette rétention; en second lieu, quand la capacité d'échange cationique pour le SO_4^{2-} devient saturée, les bases cationiques migrent librement en même temps que l'excédent d'ions SO_4^{2-}; en troisième lieu, quand les cations échangeables sont épuisés, les ions H^+ acquièrent la prédominance dans la solution en percolation et les oligo-éléments métalliques sont mobilisés, et particulièrement Al.

155. Morrison, I.K.; Foster, N.W. 1985. Limits on cation leaching of weakly podzolized soils. An empirical evaluation. Pages 377-385 *in* T.C. Hutchinson and K.M. Meema, eds., Proc. NATO Adv. Res. Workshop on Effects of Atmospheric Pollutants on Forest Wetlands and Agricultural Ecosystems, Toronto. (CFGL)

Les auteurs décrivent les propriétés chimiques de deux sols sablonneux faiblement podzolisés, dont l'un était un podzol humo-ferrique, et l'autre un brunisol dystrique moins évolué, prélevés sous des peuplements de pins gris (*Pinus banksiana* Lamb.) d'âge moyen, du nord de l'Ontario. Lors d'une expérience d'une durée de 7,5 ans sur ces sols contenus dans des lysimètres à colonne (décrite dans une autre publication), les auteurs ont noté que les deux types de sol, mais surtout le podzol, présentaient initialement une forte résistance au lessivage par les ions SO_4^{2-}. Ils supposent que les anions sont bloqués par l'adsorption du SO_4^{2-}, et présentent des données sur ses caractéristiques d'adsorption par les deux sols, corroborant cette hypothèse. Au cours de la phase initiale d'apport de SO_4^{2-} à ces sols, le lessivage des cations est bloqué par l'adsorption sélective des ions SO_4^{2-} de la solution du sol principalement dans les horizons Bf1 ou Bm1; la solution du sol se trouve ainsi dépouillée de ses contre-ions. Dès que la capacité d'échange cationique du SO_4^{2-} est saturée, les cations basiques se déplacent librement avec l'excès d'ions SO_4^{2-}, la présence d'ions échangeables étant le principal facteur qui limite leur exportation. Certaines observations indiquent qu'une exposition prolongée des silicates à des solutions acides les altère suffisamment pour que le météorisme compense ultérieurement les exportations d'ions échangeables.

156. Morrison, I.K.; Foster, N.W. 1986. Effects of acid deposition on nutrient cycling in northern hardwood forests. Pages 139-155 *in* Proc. Conf. on the Northern Hardwood Resource: Management and Potential, Houghton, MI. (CFGL)

Les auteurs ont examiné l'effet des précipitations acides sur la composition ionique de l'eau de pénétration des frondaisons, du percolat du sol forestier et des solutions du sol minéral dans deux peuplements d'érables à sucre et de bouleaux

jaunes du bassin-versant des lacs Turkey, près de Sault Ste. Marie en Ontario. Des sols podzoliques se sont formés dans des moraines d'ablation à lehm, l'une dérivée de matériaux surtout granitiques et l'autre, d'un mélange de granit et de basalte. La moraine basalto-granitique contient de plus fortes concentrations de Ca que l'autre, est moins acide, et les teneurs en Ca de la végétation et de la litière y sont plus élevées. De même, la couche d'humus brut couvrant la moraine basalto-granitique est moins acide (pH de 5,2) et son taux de saturation en bases est plus élevé (61 %) que celle couvrant la moraine granitique (pH de 4,7, taux de saturation en bases 37 %). L'acidité des précipitations, dont le pH pondéré en volume annuel atteint 4,4, est réduite par leur pénétration dans les houppiers, dans les deux stations forestières, et par leur contact avec le sol forestier seulement où il est riche en Ca. La similarité de la composition ionique des solutions de ces deux sols indique qu'aux deux stations le peuplement, l'humus et le sol minéral contiennent des réserves suffisantes de bases pour neutraliser les retombées acides actuelles et compenser l'exportation par lessivage de K, Ca et Mg.

157. Morrison, I.K.; Hogan, G.D. 1986. Trace element distribution within the tree phytomass and forest floor of a tolerant hardwood stand, Algoma, Ont. Water Air Soil Pollut. 31:493-500. (CFGL)

Les auteurs ont fait l'étude de trois phytomasses et des concentrations pondérales d'oligo-éléments métalliques, ainsi que leurs réserves dans l'étage arboré et la couverture morte d'une forêt d'érables à sucre à bouleaux jaunes du bassin-versant des lacs Turkey, district d'Algoma (Ontario). Les phytomasses aériennes, évaluées à 167 500 $kg.ha^{-1}$ consistaient surtout en bois de tige, en branches au diamètre dépassant 2 cm, et en écorces de tige. Les auteurs ont mesuré les plus fortes concentrations d'oligo-éléments métalliques dans le feuillage (Cu, Fe, Mn, Ni) et dans l'écorce des tiges (Cd, Pb et Zn). Les concentrations d'oligo-éléments métalliques indispensables présents dans toutes les parties de l'érable à sucre suivaient l'ordre décroissant prévu : Mn-Fe-Zn-Cu. Les concentrations de plomb et de Ni étaient toujours plus fortes que celles de Cd. Les concentrations des éléments indispensables dans le feuillage et les autres parties de l'arbre étaient comparables à celles mentionnées dans la littérature technique concernant d'autres forêts d'Amérique du Nord. Rien n'indiquait que la mobilisation des oligo-éléments indispensables (par exemple, le Cu) s'accroisse par suite de plus fortes précipitations atmosphériques. Les concentrations de Pb, de Ni et de Cd dans la végétation et dans la couverture morte étaient inférieures à celles signalées pour des massifs forestiers semblables du nord-est des États-Unis.

158. Morrison, I.K.; Sullivan, C.R. 1981. Terrestrial effects-forest ecosystems. Dans Acid deposition, knowns and unknowns: the Canadian perspective. APCA (Ont./Qué.) Fed. Prov. LRTAP Sci. Comm., Montréal (Québec). (CFGL)

Les auteurs font une rapide synthèse de ces problèmes pour le grand public, puis un tour d'horizon des connaissances les plus récentes dans les domaines suivants : études dendrométriques, expériences d'acidification et rapports entre la fertilité du sol et la productivité forestière. Ils décrivent les approches en vogue : méthode expérimentale, méthode biogéochimique et évaluations de la vulnérabilité de l'écosystème global.

159. Nicholson, J.A. 1984. Les concentrations d'ions dans les précipitations et l'eau courante d'une forêt d'érables et de bouleaux d'Algoma. Pages 124-135 *in* Compte rendu Coll. can. hydrol., Québec. (CFGL)

L'auteur a mesuré les concentrations de Ca^{2+}, Mg^{2+}, K^{+}, Na^{+}, SO_4^{2-} et HCO_3^{-} ainsi que le pH, la conductivité électrique et l'alcalinité des échantillons des précipitations globales et de l'eau courante qui avaient été prélevés en 1981 dans trois petits bassins d'alimentation forestiers de 17 à 63 ha appartenant au bassin-versant des lacs Turkey en Ontario. Il a déterminé les principales variations de composition chimique dans la partie terrestre et les contributions ioniques au réseau d'écoulement principal. Le débit spécifique des trois bassins est de 6 000 $m^3.ha^{-1}$, et 50 % du module absolu est atteint lors de la fonte des neiges. La durée de contact de l'eau de percolation avec les sols et la roche-mère non altérée semble un facteur déterminant des concentrations ioniques. L'auteur a mesuré les valeurs les plus élevées pour le pH, l'alcalinité, la conductivité électrique de l'eau et la concentration de la plupart des ions dans les cours d'eau sortant des bassins d'alimentation où le sol est le plus épais et où l'eau souterraine fait l'apport le plus grand au module spécifique, et non dans le bassin d'alimentation au sol peu épais. Les concentrations ioniques sont, dans tous les cas, plus fortes dans les cours d'eau que dans les précipitations. C'est l'ion bicarbonate (HCO_3^{-}) qui paraît jouer un rôle compensateur important des pertes en cations dans les bassins à sol plus épais de plus basse altitude, et l'ion SO_4^{2-} dans le bassin d'alimentation au sol peu profond. La variabilité de la composition chimique des bassins d'alimentation d'un bassin-versant du Bouclier précambrien peut être forte, et certains terrains peuvent être sensibles à l'accroissement de la charge en H^{+}.

160. Nicholson, J.A. 1987. Contributions of acid deposition to streamwater chemistry in three Precambrian Shield basins. Pages 89-98 *in* Proc. IAHS Symp. on Forest Hydrology and Watershed Management, Vancouver, B.C. IAHS Publ. No. 167. (CFGL)

L'auteur a examiné les bilans hydriques et chimiques de trois petits bassins d'alimentation du nord de l'Ontario, occupés par une forêt non perturbée à maturité, et a trouvé que la moyenne des précipitations sur 4 ans s'écarte de moins de 4 % de la normale, mais que les moyennes des débits, malgré une uniformité relative, s'écartent de 25 à 30 % de la normale. Les apports par les précipitations dans les bassins est, central et ouest suivent les proportions suivantes : sulfates : 1, 2 et 3; nitrates : 4, 1 et 1; H : 5 à 6, 1 et 1. Les SO_4, Ca et HCO_3 dominent dans l'eau débitée par le bassin ouest; HCO_3, Ca et SO_4 dans celle du bassin central; SO_4, HCO_3 et Ca, dans celle du bassin est. Deux cations seulement, H et NH_4 sont retenus dans tous les bassins, et principalement dans le bassin est. L'auteur a observé l'exportation des principaux cations dans les trois bassins, et surtout dans celui du centre, au sol le plus riche. Les carbonates contenus par les moraines aident à neutraliser les apports acides dans les bassins du centre et de l'est. L'auteur compare ces résultats avec ceux d'études du bilan d'autres bassins du Bouclier précambrien.

161. Nicholson, J.A. 1988. Ion movement in terrestrial basins: in the Turkey Lakes Forest Watershed. *In* P.J. Rennie et G. Robitaille, directeurs de publication, Effets des précipitations acides sur les ressources forestières. Compte rendu du symp. tenu à Québec, 1983 (sous presse). (CFGL)

L'auteur a mesuré les débits de 20 ruisseaux issus de bassins de 4 à 65 ha alimentant le bassin-versant (1 100 ha) de Turkey Lake Forest, afin d'évaluer leur contribution au réseau d'écoulement principal et de mesurer les échanges chimiques bruts dans les sols de la partie terrestre de l'écosystème. Le débit spécifique des cinq ruisseaux dont il est question ici va de 5,0 à 6,3 $m^3.ha^{-1}.an^{-1}$, la neige fondue fournissant de 38 à 55 % du module annuel. L'eau des ruisseaux égouttant les sols minces situés près de la source ont généralement un pH, une alcalinité et une conductivité électrique moindres que celle des ruisseaux qui égouttent les sols plus épais de l'aval du bassin. Les affluents alimentés par un fort écoulement d'eau souterraine, et que

désigne leur profil annuel de température, ont les eaux les plus alcalines, contenant des concentrations élevées d'ions essentiels, surtout parce que l'eau de percolation reste plus longtemps en contact avec les sols et avec les roches d'origine non altérées. Les apports d'azote (N) dépassent les exportations dans quatre des cinq bassins et l'azote paraît donc s'accumuler dans cet écosystème. Les pertes de cations essentiels : calcium (Ca^{2+}), magnésium (Mg^{2+}), potassium (K^{+}), sodium (Na^{+}) dépassent les apports par les précipitations dans tous les cas, sauf pour ce qui est de K^{+} dans un des bassins d'alimentation. Les apports et les pertes de soufre des sulfates (S - SO_4^{2-}) s'équilibrent presque dans quatre bassins. Comme le montrent les indices d'alcalinité, la contribution du bicarbonate est la plus importante pour compenser les exportations de cations dans les terrains bas où les sols sont plus épais, tandis que les sulfates semblent jouer ce rôle près de la source des cours d'eau, où les sols sont minces. Les variations de composition chimique de l'eau des ruisseaux d'un bassin d'alimentation peuvent être importantes, et certains terrains sont sensibles à l'accroissement de la charge en H^{+}.

162. Nicolson, J.A.; Craig, D.; Foster, N.W. 1987. Acid precipitation, surface and subsurface water chemistry in a tolerant hardwood forest basin. Pages 91-100, *in* Proc. Int. Symp. on acidification and water pathways, Bolkesjø, Norway. (CPGL)

C'est en 1983 que les auteurs ont déterminé la qualité des eaux dans la partie terrestre du bassin du lac Wishart, composant du bassin-versant des lacs Turkey en Ontario. Ils ont mesuré les concentrations ioniques dans les précipitations, l'eau du sol, l'eau souterraine jusqu'à des profondeurs atteignant 7 m et l'eau courante en deux points d'échantillonnage. Les concentrations moyennes annuelles de H^{+} diminuent alors que l'alcalinité et la concentration de Ca^{2+} augmente en fonction de la profondeur et de la longueur du cheminement de l'eau souterraine. Les auteurs ont trouvé que le Ca^{2+} et le SO_4^{2+} étaient les ions dominants des eaux souterraines non saturées et peu profondes et des eaux courantes, et que le Ca^{2+} et l'alcalinité dominent dans les eaux souterraines plus profondes. L'alcalinité et de faibles concentrations de Ca^{2+} dans un cours d'eau indiquent que celui-ci reçoit une forte proportion d'eau souterraine peu profonde et que, par conséquent, il est plus affecté par les retombées acides. Les auteurs ont observé que, dans le bassin-versant, le SO_4^{2-} exporté du sol s'ajoute à celui provenant des précipitations acides, augmentant l'acidité des eaux. L'altération géochimique des carbonates des moraines est le principal facteur d'alcalinisation des eaux souterraines et des cours d'eau alimentés par celles-ci. Les réactions biotiques et abiotiques dans le bassin semblent déterminer la composition chimique des eaux courantes plus que ne le fait la composition des précipitations.

163. Nicholson, J.A.; Foster, N.W.; Morrison, I.K. 1982. Forest harvesting effects on water quality and nutrient status in the boreal forest. Pages 71-89 *in* Proc. Can. Hydrol. Symp. '82, Fredericton, N.B. (CPGL)

L'exploitation forestière et l'aménagement des sites peuvent perturber gravement les cycles hydrologiques et nutritionnels des écosystèmes forestiers, car l'enlèvement de la matière ligneuse constitue une exportation d'éléments fertilisants, tout comme le lessivage accéléré par le ruissellement et la percolation des eaux.

Les auteurs ont étudié plusieurs bassins d'alimentation (de 35 à 170 ha) contenant des forêts inexploitées et des repousses de divers âges après coupe à blanc de pins gris (*Pinus banksiana* Lamb.) et d'épinettes noires (*Picea mariana* [Mill.] B.S.P.), du nord-ouest de l'Ontario. Ils les ont choisis en supposant que l'étude d'une section transversale de chaque type de bassin mettrait en évidence les principales perturbations.

Les auteurs ont effectué des échantillonnages hebdomadaires au cours de la période végétative (d'avril à octobre). Toute perturbation de la forêt est suivie d'une plus forte concentration des éléments, mais celle-ci retourne à son niveau antérieur au cours de la seconde année. Cependant, la réduction de l'évapotranspiration accroît les quantités d'eau dans le sol et donc le lessivage des éléments fertilisants, pendant plusieurs années.

En s'étayant sur une masse considérable de données concernant la biomasse et la diminution des réserves d'éléments fertilisants mobilisables, les auteurs ont pu calculer l'envergure des exportations d'éléments fertilisants résultant de la récolte de matière ligneuse. Les pertes totales de ces éléments contenus dans la matière ligneuse et le sol par suite d'une récolte de bois de trituration peuvent atteindre 35 % du N, 20 % du P et des pourcentages moindres quoique notables du Ca et du Mg.

D'un point de vue général, les auteurs examinent l'envergure des modifications de qualité de l'eau du bassin des Grands Lacs, à la suite des programmes d'aménagement des forêts qu'il contient.

164. Nyborg, M.; Crepin, J.; Hocking D.; Baker, J. 1977. Effect of sulfur dioxide on precipitation and on the sulfur content and acidity of soils in Alberta, Canada. Water Air Soil Pollut. 7:439-448. (CFN)

La pluie et la neige sont rarement acides en Alberta. La teneur en S de la neige est si faible que la couche de neige accumulée donne moins de 1 kg de S/ha^{-1}, même à des emplacements sous le vent de fortes sources d'anhydride sulfureux. La pluie fournit tout au plus 4 kg de S/ha^{-1} chaque année près des sources de SO_2, et seulement 1 kg de S/ha^{-1} dans des zones non polluées. Toutefois, l'eau de pénétration du houppier d'arbres exposés aux rejets d'anhydride sulfureux devient acide (pH de 3,5 à 4,5) et contient une teneur en soufre de 3 à 4 fois plus forte que celle de la pluie. Les sols absorbent de grandes quantités de S provenant des rejets atmosphériques (jusqu'à 50 kg S.ha^{-1} annuellement), mais une bonne partie de ce S se trouve sous des formes autres que les sulfates. Les sols sont lentement acidifiés par le SO_2 à la cadence d'une unité de pH en 10 ou 20 ans. Les plans d'eau absorbent les rejets d'anhydride sulfureux au taux d'environ 4 à 15 kg de S/ha^{-1} chaque année. Les dépôts de matières particulaires contiennent de 3 à 4 fois plus de soufre que les précipitations acides.

165. Percy, K.E. 1983a. Heavy metal and sulphur concentrations in *Sphagnum magellanicum* Brid. in the Maritime Provinces, Canada. Water Air Soil Pollut. 19:341-349. (SCF-M)

L'auteur a effectué un relevé régional des concentrations de certains métaux lourds et de S dans le *Sphagnum magellanicum* Brid. des provinces maritimes au Canada. Il s'est servi des Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Ni, Pb, S, et Zn pour décrire la répartition régionale des retombées atmosphériques de ces éléments, tous en quantités mesurables, sur la terre ferme. Ils s'accumulent dans l'ordre suivant des quantités décroissantes : S > Fe > Mn > Zn > Pb > Cu > Ni > Cr > Co > Hg > Cd. Les concentrations moyennes régionales de métaux lourds de sources anthropiques sont inférieures aux concentrations signalées dans le nord de l'Ontario et la Suède méridionale. On ne possède pas de données comparables sur les concentrations de S dans les autres espèces de *Sphaghum*. L'auteur attribue ces fortes concentrations de Pb, Hg et S aux rejets des industries locales. Il a établi des corrélations significatives entre les concentrations de Fe et de Co et celles de Ni et de Cr.

166. Percy, K.E. 1983b. Sensitivity of eastern Canadian forest tree species to simulated acid precipitation. Aquilo Ser. Bot. 19:41-49. (SCF-M)

L'auteur étudie les réactions morphologiques de 14 espèces d'arbres forestiers de l'est du Canada à des précipitations acides simulées ainsi que les variations de leur croissance. Il décrit les effets de quatre types d'aspersions de pH différents (5,6, 4,6, 3,6 et 2,6) sur le taux de germination et le pouvoir germinatif des semences, le développement des semis, y compris la hauteur et la productivité, ainsi que sur la morphologie des semis, y compris le nombre de feuilles et leur longueur. L'auteur a utilisé des techniques histologiques et histochimiques pour mesurer les altérations microscopiques de l'anatomie foliaire, le métabolisme des glucides et des protéines, et les activités enzymatiques. Il étudie les modifications des caractéristiques de surface au microscope à balayage électronique. Ses expériences sont effectuées en laboratoire, dans une enceinte climatisée simulant les caractéristiques chimiques de la pluie (contenant 16 éléments), son volume, son intensité et les caractéristiques des gouttes de pluie déjà observées lors d'une période végétative dans la région centrale du Nouveau-Brunswick.

Les données préliminaires sur les réactions des semis de trois abiétacées indiquent une forte variabilité interspécifique des paramètres morphologiques. L'auteur a observé des diminutions très notables du taux de germination et du pouvoir germinatif à un pH de 2,6 chez l'épinette blanche (*Picea glauca* [Moench] Voss) et chez l'épinette rouge (*Picea rubens* Sarg.). Il n'a observé aucune tendance semblable chez le pin rouge (*Pinus resinosa* Ait.) ou chez le pin gris (Pinus banksiana Lamb.). L'augmentation de l'acidité des précipitations tend à ralentir la croissance des semis. L'auteur a observé une inhibition notable du début du développement des aiguilles primaires et secondaires chez les quatre espèces à un pH de 4,6. Les autres paramètres paraissent affectés de façon moins uniforme.

167. Percy, K.E. 1986. The effects of simulated acid rain on germinative capacity, growth and morphology of forest tree seedlings. New Phytol. 104:473-484. (SCF-M)

L'auteur a étudié les dommages directs causés aux semis d'arbres forestiers par les pluies acides simulées dans une enceinte climatisée de conception spéciale. Il a mesuré le pouvoir germinatif des graines, les taux de survie et de croissance des semis de onze espèces d'arbres d'importance commerciale de la région tempérée nord et leurs réactions morphologiques à des pluies simulées aux pH de 5,6, 4,6, 3,6 et 2,6 au cours de leur première période végétative. Le pouvoir germinatif réagit faiblement au pH de la pluie, alors que le taux de survie des semis y est plus sensible. L'auteur n'a observé aucun signe d'endommagement macroscopique des feuilles lorsque le pH était > 2,6. Les aspersions d'eau acidulée à un pH < 4,6 suffisent à ralentir la croissance des semis de conifères et à leur causer des modifications morphologiques statistiquement significatives. Leurs réactions varient selon l'espèce, le pH de l'eau d'aspersion et le paramètre mesuré. Aucune tendance à la stimulation de la croissance n'a été observée. Le pH de l'eau acidulée d'aspersion a des effets marqués sur le début de la croissance des aiguilles primaires, sur les méristèmes axillaires ainsi que sur la hauteur apicale des pousses. Les feuillus sont beaucoup plus résistants que les conifères. Pour obtenir des ralentissements notables du développement des semis de feuillus, l'auteur a utilisé une eau d'aspersion au pH 2,6.

168. Percy, K.E. 1987. Effects of simulated acid rain on leaf cuticular characteristics and leaf surface properties. PhD thesis, Univ. Bristol, U.K. (SCF-M)

L'auteur a étudié les effets de la pluie acide simulée sur les cuticules adaxiaux des feuilles d'un groupe d'espèces végétales d'importance commerciale et d'arbres aux caractéristiques cuticulaires très différentes. Il a aspergé des feuilles en expansion de plantes cultivées en phytotron, de leur émergence jusqu'à leur déploiement complet, avec de l'eau acidifiée aux pH 5,6, 4,6, 4,2, 3,8, 3,4 et 3,0 ou 2,6, au taux de 2 $mm.h^{-1}$, tous les deux jours. Le nombre d'aspersions, le nombre, la quantité et les dimensions des gouttelettes (diamètre : 349 µm) ainsi que leur vélocité (1,2 $m.s^{-1}$) correspondaient aux caractéristiques de la pluie au R.-U. L'eau d'aspersion «non acide» à un pH de 5,6 contenait 14 éléments minéraux à des concentrations pondérales ou volumiques équivalant à celles mesurées à un emplacement de l'est du Canada.

L'auteur a noté que le degré d'endommagement des feuilles ainsi que les dimensions des lésions étaient beaucoup plus élevés chez les plantes cultivées à feuilles vernissées que chez celles à feuilles non vernissées. Les dommages étaient moins importants chez l'épinette de Sitka, un conifère (*Picea sitchensis* [Bong.] Carr.). La sensibilité relative des espèces aux dommages foliaires diminue dans l'ordre suivant: colza (*Brassica napus* L.), > eucalyptus (*Eucalyptus globlus* L.), > pois (*Pisum sativum* L.), > haricot nain (*Phaseolus vulgaris* L.) > fève (gourgane) (*Vicia faba* L.) > épinette de Sitka.

La production de vernis épicuticulaire chez toutes les espèces, ainsi que sa structure et sa composition sur les feuilles exposées aux aspersions sont affectées à des degrés divers. La quantité de vernis diminue sur les surfaces foliaires adaxiales du haricot nain, de la fève, du pois et de l'eucalyptus exposés aux aspersions acidulées à un ou plusieurs pH < 4,6, mais non chez le colza et l'épinette de Sitka. Les aspersions à des pH < 4,6 produisent des modifications structurelles du vernis allant des petites formations cristallines sur les feuilles de colza (tubules) et de pois (plaquettes) jusqu'à la modification complète de la structure cristalline fine sur les aiguilles d'épinettes de Sitka. Les modifications de la composition du vernis ne touchent en général que celles qui contiennent une classe de composés à homologue prédominant. La quantité d'alcools primaires décroît sur les surfaces foliaires des haricots nains exposés à des aspersions acidulées à des pH < 4,6 alors que les proportions relatives des diols extraits du vernis des aiguilles d'épinettes de Sitka exposées à un pH < 4,2 augmentent ou diminuent selon leur lignée clonale.

L'épaisseur des membranes cuticulaires diminue jusqu'à 50 % sur les feuilles de haricot nain, de fève et de pois exposées à des aspersions acidulées à des pH < 4,2. L'épaisseur des membranes des aiguilles d'épinette de Sitka exposées aux mêmes aspersions augmente ou diminue selon leur lignée clonale. La structure fine de la membrane n'est altérée que chez le haricot nain.

Par suite du changement des caractéristiques physico-chimiques de la cuticule, les angles de contact des gouttes avec les feuilles ou les aiguilles de toutes les espèces exposées des aspersions acidulées à un pH < 4,6 diminuent. Ces changements augmentent le volume d'eau acidulée retenu par les feuilles de haricot nain et de colza, ainsi que par les aiguilles d'épinette de Sitka exposées à des aspersions à des pH < 4.2.

La modification des propriétés superficielles des feuilles entraînent souvent des changements de l'absorption foliaire des radioisotopes $^{86}Rb^{+}$, $^{63}Ni^{2+}$ ou $^{35}SO_4^{2-}$ contenus dans des gouttelettes dont les dimensions et les vitesses sont comparables à celles des pluies atteignant des surfaces foliaires intactes. L'absorption d'un ou de plusieurs isotopes par les feuilles de colza exposées à une aspersion acidulée à un pH

inférieur à 3,4 diminue et elle augmente dans les feuilles de haricot nain et d'eucalyptus exposées à une aspersion acidulée à un pH inférieur à 3,0. L'absorption de 86 Rb^+ augmente après aspersion à un pH de 2,6 chez un clone d'épinette de Sitka. Seules de petites proportions (moins de 6 %) des radiotraceurs absorbés ont été trouvées dans les couches de vernis cristallin épicuticulaire. La mobilité ionique à l'intérieur des feuilles et des aiguilles n'est modifiée qu'à un pH de 2,6. L'auteur a observé de plus fortes proportions de radiotraceurs fixées dans les couches cuticule-épiderme des feuilles du pois mutant (*Pisum sativum* L. Arg.) que dans les couches de vernis épicuticulaire des feuilles d'autres espèces.

169. Percy, K.E. 1988. Direct effects of acid rain on the morphology and growth of forest vegetation. *In* P.J. Rennie et G. Robitaille, directeurs de publication, Effets des précipitations acides sur les ressources forestières. Compte rendu du symp. tenu à Québec, 1983 (sous presse). (SCF-M)

La recherche concernant les effets directs des pluies acides sur la végétation a beaucoup retenu l'attention au cours de ces dernières années. L'auteur fait le tour d'horizon des connaissances actuelles sur l'action de ces précipitations sur les paramètres morphologiques et la croissance de la végétation forestière. Présentement, on ne connaît pas de preuve certaine d'effets directs de la pluie sur la croissance in situ de la forêt, bien qu'on incrimine souvent les pluies acides ou les polluants en général pour le dépérissement des forêts ou le ralentissement de l'accroissement des forêts aux États-Unis et en Europe.

Les données présentées par l'auteur indiquent que l'interaction directe entre les pluies acides et le feuillage des plantes peut altérer leurs caractéristiques morphologiques et le développement des semis de plusieurs espèces d'arbres forestiers. Toutefois, de nombreux facteurs déterminent la réaction des plantes à une pluie isolée fortement acide ou à une succession de pluies moins acides. Alors que les connaissances actuelles permettent de mieux comprendre le processus d'endommagement direct, de nombreuses questions demeurent sans réponse. Il faudrait que les résultats ne soient pas isolés de leur contexte opérationnel, ni servir à des fins de prévision ou d'évaluation quantitative sur le terrain. Il faudrait plutôt les considérer comme des indicateurs d'effets potentiels observables sur le terrain dans certaines conditions. On doit également s'efforcer d'essayer des mélanges de polluants dans les expériences là où la chose est possible et pratique, et concevoir soigneusement des expériences sur le terrain pour mettre en évidence des répercussions discrètes d'une pollution directe, et appliquer ensuite les conclusions sur une échelle beaucoup plus vaste.

170. Percy, K.E.; Baker, E.A. 1987a. Effects of simulated acid rain on production, morphology and composition of epicuticular wax and on cuticular membrane development. New Phytol. 107:577-589. (SCF-M)

Les auteurs ont exposé des feuilles de *Phaseolus vulgaris* L., *Vicia faba* L., *Pisum sativum* L. et *Brassica napus* L., à divers stades entre l'émergence et le développement complet, à des pluies simulées de sept pH compris entre 5,6 et 2,6, à raison de 2 $mm.h^{-1}$ en des quantités et à des intervalles représentatifs de la pluie typique du sud-ouest de l'Angleterre. Le développement des feuilles de *V. faba* n'est pas modifié par l'aspersion d'eau à un pH supérieur à 3,0, ni de celles d'autres espèces à un pH de 2,6. L'aspersion d'eau à un pH de 3,4 cause des dommages macroscopiques aux feuilles non mouillables de *P. sativum* et de *B. napus* couvertes d'une épaisseur assez forte de vernis épicuticulaire cristallin, et au pH de 3,0 aux feuilles mouillables de *P. vulgaris* et *V. faba*, couvertes d'une faible couche de vernis amorphe. Les

dommages foliaires sont les plus importants chez les espèces aux feuilles couvertes d'un vernis cristallin. La production de vernis est diminuée par l'aspersion d'eau acidulé sur les feuilles de toutes les espèces et la composition du vernis est souvent modifiée. La quantité de vernis couvrant les feuilles de *P. vulgaris* est réduite par l'aspersion d'eau à un pH de 4,6, alors que les plaquettes et les tubules de vernis couvrant les feuilles de *P. sativum* et de *B. napus* deviennent plus nombreux si l'eau d'aspersion a un pH de 4,6. Les feuilles de *B. napus*, dépouillées de vernis épicuticulaire cristallin, et ayant atteint environ 20 % de leur taille définitive, régénèrent moins de vernis si l'eau d'aspersion a un pH de 3,4 plutôt que de 5,6. L'épaisseur des membranes cuticulaires couvrant les feuilles de *P. vulgaris*, *V. faba* et *P. sativum* exposées à des aspersions d'eau à un pH de 4,2 diminue de 28 à 35 % par rapport à celle des feuilles exposées à des aspersions d'eau au pH de 5,6. La structure fine de la membrane des feuilles de *P. vulgaris* est également altérée. Considérés globalement, ces changements pourraient avoir d'importantes conséquences pour la mouillabilité des feuilles, la rétention de la pluie, l'absorption foliaire des substances chimiques et les interactions hôte-parasites.

171. Percy, K.E.; Baker, E.A. 1987b. Effects of simulated acid rain on leaf wettability, rain retention and uptake of some inorganic ions. New Phytol. 108:75-82. (SCF-M)

Les auteurs ont exposé des feuilles de *Phaseolus vulgaris* L., *Vicia faba* L., *Pisum sativum* L. et *Brassica napus* L., depuis leur apparition jusqu'à leur plein développement, à sept aspersions de pluie acide simulée à des pH compris entre 5,6 et 2,6. Ils ont observé que, chez toutes les espèces, les angles de contact des gouttelettes avec les feuilles diminuent après aspersion d'eau acide à un pH inférieur à 4,5, par rapport aux aspersions au pH de 5,6. La rétention des gouttes d'eau contenant de la fluorescéine par les feuilles de *P. vulgaris* aspergées avec une eau aux pH inférieurs à 3,8 augmente par rapport à ce que produit un pH de 4,6. La rétention des gouttes par les feuilles de *B. napus* augmente après aspersion à un pH inférieur à 4,6. L'absorption foliaire des trois ions à l'étude suit l'ordre décroissant : $^{86}Rb^{+}$ > $^{35}SO_4^{2-}$> et $^{63}Ni^{2+}$. L'absorption de $^{86}Rb^{+}$ par les feuilles de *B. napus* augmente, et diminue dans les feuilles de *P. vulgaris* exposées à une aspersion à un pH inférieur à 3,4. L'absorption de $^{35}SO_4^{2-}$ et de $^{63}Ni^{2+}$ par les feuilles de *B. napus* augmente après aspersion avec de la pluie acide simulée au pH de 2,6, mais elle n'est pas modifiée chez *P. vulgaris*. Jusqu'à 7 % du $^{35}SO_4^{2-}$ se retrouvent dans la couche de vernis épicuticulaire des feuilles de *B. napus* 48 heures après l'application, la plus grande partie s'y retrouvant après aspersion au pH de 2,6. L'ordre de migration latérale des ions à l'intérieur des feuilles est le même que celui de leur absorption. La migration des trois ions augmente dans les feuilles de B. napus exposées auparavant à des aspersions au pH 2,6. Les auteurs attribuent la plus forte rétention de la fluorescéine sur les feuilles exposées à la pluie acide simulée et la réduction de leurs angles de contact avec les gouttes à la diminution de la rugosité superficielle des feuilles. La modification de l'absorption des ions pourrait aussi découler des changements structurels du vernis superficiel ou des changements observés des propriétés des membranes cuticulaires. Ces résultats montrent que l'interaction entre plantes et milieu atmosphérique pourrait être modifié par une aspersion préliminaire en quantités et acidités correspondant à celles des pluies normales.

172. Percy, K.E.; Borland, S.A. 1985. A multivariate analysis of element concentrations in *Sphagnum magellanicum* Brid. in the Maritime Provinces, Canada. Water Air Soil Pollut. 25:331-338. (SCF-M)

Les auteurs ont mesuré les concentrations de 14 éléments (Ca, Cr, Cu, Fe, Hg, K, Mg, Mn, N, Na, Ni, Pb, S, Zn) dans des échantillons de *Sphagnum magellanicum* Brid. prélevés à 61 points d'échantillonnage dans des marais ombrotrophes des Provinces Maritimes (Canada). L'analyse des principaux paramètres biologiques et des sources leur permet d'expliquer la variabilité des concentrations d'éléments. Cinquante pour cent des concentrations d'éléments et 77 % des variations mesurées s'expliquent par l'intervention de six paramètres principaux. Les auteurs décrivent les paramètres intervenant dans l'état physiologique et nutritionnel des plantes et les sources de la plupart des éléments importants. Ils indiquent qu'on peut utiliser la concentration de K dans le Sphagnum magellanicum comme indicateur de la situation nutritionnelle de la plante, et les concentrations de Na, Ni et Fe comme indicateurs des retombées atmosphériques provenant des brumes salines, des fumées de combustion des combustibles fossiles, des éléments naturels de l'écorce terrestre ou des éléments lithophiles du sol. Les concentrations de soufre dans *S. magellanicum* ne permettent pas de calculer avec précision les retombées locales ou à long terme d'origine industrielle.

173. Percy, K.E.; Riding, R.T. 1978. The epicuticular waxes of *Pinus strobus* subjected to air pollutants. Can. J. For. Res. 8:474-477. (SCF-M)

Les auteurs ont étudié l'action des polluants atmosphériques sur les vernis épicuticulaires des aiguilles de pin blanc (*Pinus strobus* L.). La morphologie et la répartition des vernis diffèrent selon le degré de pollution de l'endroit où poussent les pins. Les stomates des aiguilles exposées aux polluants sont largement obturés, et la texture du vernis épicuticulaire est désorganisée. Cette désorganisation pourrait constituer la première phase de l'action des polluants atmosphériques sur la végétation.

174. Percy, K.E.; Riding, R.T. 1981. Histology and histochemistry of elongating needles of *Pinus strobus* subjected to a long-duration, low-concentration exposure of sulfur dioxide. Can. J. Bot. 59:2558-2567. (SCF-M)

Les auteurs ont cultivé des semis de *Pinus strobus* âgés de deux ans, du débourrement des bourgeons à leur épanouissement (11 semaines), dans une atmosphère contenant 132 ± 26 µg SO_2/m^3 et ont examiné les effets histologiques et histochimiques de cette exposition sur les aiguilles en phase d'élongation. Les dommages aux cellules se limitent au parenchyme mésophyllien. La coloration des protoplastes des cellules atteintes subit une altération progressive selon l'endommagement. Les glucides et les plastes s'agglutinent aux parois cellulaires. Les protéines entières et celles comportant des groupes sulfhydryle-bisulfure diminuent. La coloration des phospholipides paraît altérée dans la région membrane du protoplaste-paroi cellulaire. L'activité de la déshydrogénase succinique est renforcée, et elle séjourne plus longtemps dans les cellules endommagées. Le développement des aiguilles exposées à l'anhydride sulfureux est ralenti. Les auteurs n'ont pu mettre en évidence de ralentissement notable de la croissance des semis après 11 semaines d'exposition. On peut donc qualifier les dommages de latents ou d'inapparents. L'anhydride sulfureux peut ralentir la croissance par paliers successifs.

175. Pollard, D.F.W. 1983. Carbon reservoirs in Canadian forests. Pages 19-24 *in* Rep. Tech. Meet. on Sources and Sinks of Atmospheric CO_2 in Northern Latitudes, Serv. Environ. Atmos., Environ. Can., Toronto. (SCF-AC)

L'auteur décrit la structure des forêts canadiennes du point de vue de leur capacité d'accumulation du carbone. L'absence de données compatibles, couvrant en

particulier des périodes de longueur suffisante, est à l'origine de la grande imprécision des évaluations. Des lacunes encore plus grandes existent dans nos connaissances sur les sols forestiers, dont les teneurs en carbone dépassent de beaucoup celles de la biomasse vivante qu'ils nourrissent.

176. Pollard, D.F.W. 1985. A forestry perspective on the carbon dioxide issue. For. Chron. 61:312-318. (SCF-AC)

L'utilisation des combustibles fossiles et la diminution de la biomasse forestière et de la matière organique du sol causent un accroissement de la concentration de dioxyde de carbone dans l'atmosphère terrestre. Cette concentration qui atteignait, estime-t-on, 260 ppm en volume avant l'ère industrielle, doublera sans doute d'ici l'an 2065, perturbant le climat à l'échelle régionale et globale. Il en résultera certainement des répercussions directes sur le secteur forestier, favorisant probablement les espèces à croissance rapide, notamment certains feuillus et espèces indésirables. Comme il réduit la transpiration, le CO_2 peut aussi accélérer la croissance des arbres et économiser l'eau, surtout dans les régions arides. Il est beaucoup plus difficile de prévoir les conséquences de ces perturbations climatiques, surtout à cause des incertitudes de la théorie actuelle des réactions au climat. Les données les plus informatives que l'on possède évoquent une grave désadaptation des forêts canadiennes à leur future zone climatique. L'extrapolation empirique des variations climatiques du passé indique une aggravation des ravages d'insectes et de maladies dans les forêts. Mais il n'est pas justifié de prendre dès maintenant des mesures préventives, car trop d'incertitudes subsistent. Il faut effectuer des travaux de recherches et des analyses judicieuses pour tirer parti des possibilités et réduire les conséquences des effets prévisibles, et particulièrement ceux de la concentration accrue de CO_2 dans l'atmosphère.

177. Pollard, D.F.W. 1988a. Forestry in a changing climate. *In* R.R. Street, D.C. MacIver and A.N. Auclair, eds., Climate applications in forest management and forest production. Forest Climate '86, Symp./Workshop, Orillia, Ont. Can. For. Serv., Atmos. Environ. Serv., Ottawa (sous presse). (SCF-AC)

L'accroissement de plus en plus rapide de la teneur de l'atmosphère en dioxyde de carbone et en d'autres gaz rejetés par l'industrie entraînera des changements climatiques radicaux au cours du XXI^{e} siècle. Les forestiers doivent dès maintenant en envisager les conséquences, car leurs plans et leurs efforts s'inscrivent dans le cadre de plusieurs décennies. Les écosystèmes forestiers sont sensibles au régime climatique, et les diverses hypothèses touchant le changement du climat débouchent sur une augmentation de la production forestière. Mais les modèles empiriques rattachant l'activité végétative au climat montrent que les massifs forestiers pourraient dans l'avenir ne plus être adaptés au climat des régions où ils poussent. Si des changements climatiques se produisent, ils entraîneront bientôt d'importants dommages dus aux feux de forêt, aux maladies des arbres, et à la prolifération des insectes et des mauvaises herbes, qui causeraient de graves déséquilibres dans les massifs forestiers. Néanmoins, la possibilité d'un accroissement de la productivité forestière, grâce à l'allongement de la saison chaude, de l'élévation de la température, d'une utilisation plus efficace de l'eau par les végétaux et d'un accroissement de la quantité de dioxyde de carbone dans l'atmosphère, ouvre des perspectives intéressantes aux forestiers et leur fournit une occasion unique d'accomplir un effort d'aménagement forestier intensif.

178. Pollard, D.F.W. 1988b. Forestry and climate change: facing uncertainty. E.B. Eddy Distinguished Lecture Series, november 1987. Univ. Toronto Press, Toronto. (CSF-AC)

L'auteur envisage les divers scénarios de changement climatique causé par l'accumulation des gaz absorbant l'infra-rouge dans l'atmosphère. Les activités forestières en subiront les répercussions à mesure de la désadaptation des écosystèmes forestiers à l'évolution du climat. On prévoit une multiplication des attaques d'insectes et la propagation des maladies, une prolifération des mauvaises herbes, de nombreux incendies de forêt, des alternances de gel et de dégel et l'accumulation de pluie verglaçante. L'exploitation forestière deviendrait fort malaisée dans les massifs forestiers où l'on accède maintenant par des terrains marécageux gelés en hiver. Mais certains avantages seraient disponibles, sous forme d'un plus fort taux d'accroissement du bois par suite de l'augmentation des quantités de dioxyde de carbone disponible, d'une utilisation plus efficace des eaux, de la plus forte fixation d'azote atmosphérique et d'une période végétative plus longue et plus chaude. L'auteur envisage des tactiques permettant de réduire les inconvénients du changement climatique et décrit les recherches menées actuellement et les activités décisionnelles correspondantes.

179. Rao, D.N.; Robitaille, G.; LeBlanc, F. 1977. Influence of heavy metal pollution on lichens and bryophytes. J. Hattori Bot. Lab. 42:213-239. (CFL)

Les auteurs passent en revue la littérature technique publiée jusqu'en 1977, et l'influence des caractères morphologiques des lichens et des bryophytes, des substrats et du climat sur l'absorption et l'accumulation des métaux lourds. Ils analysent les processus d'accumulation et d'intoxication, ainsi que la tolérance aux métaux et les mécanismes de détoxification, et décrivent les méthodes de surveillance de la pollution par les métaux et sa cartographie.

180. Rencz, A.N.; Percy, K.E.; Kettles, I.M. 1985. Predicting terrain sensitivity to acid rain: scientists integrate data sets. Geos 14:21-25. (SCF-M)

Les auteurs, dans cette étude, mettent l'accent sur la combinaison de séries de données en vue d'évaluer avec plus de précision la vulnérabilité générale d'une région donnée aux pluies acides. Les conclusions tirées de cette combinaison de données ne sont pas nécessairement identiques à celles que donne une seule série de données. Les auteurs montrent, par exemple, que des forêts caducifoliées très sensibles peuvent pousser sur des sédiments d'origine glaciaire contenant des teneurs très diverses de calcaire. On découvre ainsi que le degré de sensibilité générale des forêts caducifoliées poussant dans des sols calcaires est relativement faible, si l'on tient compte de ces variations.

181. Rennie, P.J. 1978. Ecosystem responses to environmental pollutants. Pages 139-144 *in* Proc. Air Quality Criteria Workshop, Atmos. Environ. Serv., Toronto. (SCF-AC)

L'auteur décrit les difficultés et les limites de l'utilisation des normes de qualité de l'air quand il s'agit de protéger des milieux contenant des polluants à des concentrations inférieures aux normes, mais dont la présence durable pourrait causer une dégradation permanente de l'environnement. Il explique certaines caractéristiques générales des rapports entre air, eau et sol de l'écosystème végétal et décrit les vulnérabilités particulières de l'environnement au Canada et les risques qu'il court. L'auteur propose d'élargir le concept habituel des critères de qualité de

l'air, et indique quels sont les domaines où il faudrait recueillir une meilleure base de données pour l'élaboration scientifique des normes de qualité de l'air.

182. Rennie, P.J. 1979a. Dangers to soils and vegetation. Pages 24-29 *in* Damages and Effects Session, Proc. Action Seminar on Acid Precipitation -- an International Citizens' Conference on Acid Rain, Toronto. (SCF-AC)

Cet exposé, destiné au grand public, traite de l'effet des pluies acides sur les forêts du Canada. L'auteur y décrit les avantages économiques procurés par les forêts et leur action bénéfique sur l'environnement global, les dangers des pluies acides, les préoccupations particulières du Canada, ainsi que le programme de recherches globales sur les pluies acides. Il a enregistré ses exposés sur des cassettes pour leur donner une vaste diffusion.

183. Rennie, P.J. 1979b. Long-range pollution and acid rain: factors in the terrestrial environment. Pages 35-44 *in* Proc. Workshop on Long-Range Transport of Air Pollution and Its Impacts on the Atlantic Region, Atmos. Environ. Serv., Dartmouth, N.S. 108 p. (SCF-AC)

L'auteur explique les dangers des polluants atmosphériques transportées sur de grandes distances pour la végétation et les sols de l'est du Canada. Il illustre la diffusion de ces polluants au sein des écosystèmes par des cheminements croisés entre ses divers composants, soit la végétation, le sol, l'eau et la faune. Il montre que la différence entre les fortes pollutions localisées et la pollution d'origine lointaine détermine le choix de la méthode d'analyse des deux genres de problèmes, et propose une méthode d'étude pluridisciplinaire des bassins-versants où il est possible de suivre avec précision les transformations et les effets des retombées tout au long de leur cheminement de l'atmosphère au réseau hydrographique.

184. Rennie, P.J. 1979c. Terrestrial systems. Pages 18-32 *in* A.P. Altshuller et G.A. McBean, eds., The LRTAP problem in North America: a preliminary overview. Rédigé par le Groupe consultatif de recherches États-Unis - Canada sur le transport à grande distance des polluants atmosphériques. (SCF-AC)

Cette étude fait partie d'un tour d'horizon plus général des connaissances actuelles sur la pollution à l'échelle régionale, et elle porte sur les rejets de polluants, la composition chimique de l'atmosphère, les pollutions transfrontières, les taux d'accumulation de retombées et les effets des polluants sur les écosystèmes aquatiques et terrestres. Bien qu'on ait déterminé les effets de la pollution sur les écosystèmes aquatiques, son action sur les écosystèmes terrestres, et en particulier sur les forêts, restent incertains. Les forêts et les sols des vastes espaces du nord-est du pays paraissent encore intacts, mais plusieurs raisonnements suggèrent qu'ils sont en danger. Le premier se fonde sur 70 années d'observations aux alentours des grandes sources ponctuelles de pollution et le deuxième tient compte de la détérioration des propriétés du sol et de la diminution de fertilité observées après l'application renouvelée d'engrais acides; le troisième se fonde sur l'observation de la détérioration des propriétés du sol, soit une forte mobilisation des éléments toxiques aluminium et manganèse et la disparition des populations de micro-organismes utiles, produites par l'acidification excessive des sols; le quatrième s'étaye sur l'accumulation constante des connaissances sur les concentrations de polluants et leur mélange dans le Nord-Est canadien; le cinquième tient compte de la pauvreté générale en éléments nutritifs et de l'acidité déjà très forte de la plupart des sols du Nord-Est où poussent des forêts, et le sixième s'appuie sur la formidable valeur économique des forêts du Nord-

Est et leur grande importance pour l'environnement. L'auteur étaye son exposé sur les faits mentionnés dans la littérature technique qu'il cite.

185. Rennie, P.J. 1980a. North American energy policy: environmental perspectives and energy needs. *In* Proc. 73rd Annu. Meet. Exhib. Air Pollut. Control Assoc., Montreal. Pap. no. 80-25.1. (SCF-AC)

La fourniture de matières premières et d'énergie d'une part, et la fabrication d'une gamme de produits de consommation courante d'autre part, apparaissent comme les deux principales activités d'une société moderne industrialisée dont il est malaisé de prendre en compte simultanément les besoins et les points sensibles. L'auteur décrit les conflits qui peuvent résulter de leur négligence, particulièrement pour la satisfaction des besoins énergétiques futurs, ainsi que de la combustion de charbon et de la pollution de l'air qui en découle, et de la menace constituée par cette dernière pour la production forestière et les autres ressources renouvelables. Il expose la nécessité d'élaborer des techniques culturales et des méthodes acceptables par tous les intéressés.

186. Rennie, P.J. 1980b. Acid rain and the forest: a serious but elusive threat. Can. Pulp Pap. Ind. 33:23-33. (SCF-AC)

L'auteur fait, à l'intention des forestiers et des autres intéressés, un tour d'horizon très général du problème des pluies acides et de leurs incidences sur les forêts. Son exposé comprend plusieurs sections portant sur les pluies acides et la pollution transportée à grande distance, les gaz et les pluies acides, les forêts détériorées, l'origine des pluies acides, les tendances futures, les effets sur la végétation et les sols forestiers, un programme d'étude des pluies acides, ainsi que les principales actions à entreprendre.

187. Rennie, P.J. 1980c. Effects of atmospheric deposition. *In* A.P. Altshuller et G.A. McBean, eds., The LRTAP problem in North America: a preliminary overview. Deuxième rapport du,Groupe consultatif de recherches États-Unis - Canada sur le transport à grande distance des polluants atmosphériques, novembre, chap. 4. (SCF-AC)

Ce chapitre est destiné à compléter le Rapport de l'année précédente (17 octobre 1979) portant sur les raisons d'être préoccupé. Voici son contenu : introduction, étendue des écosystèmes aquatiques et terrestres vulnérables, effets des polluants sur les écosystèmes, compréhension de leur processus d'action, leurs effets sur les récoltes et les forêts, leurs effets sur les écosystèmes forestiers, les conséquences du transport des polluants à grande distance pour la qualité de l'eau, les autres polluants atmosphériques préoccupants transportés au loin, et leur visibilité. L'auteur fournit une bibliographie reflétant les contributions du SCF ainsi qu'un tableau de classement des sols de l'Est canadien en fonction de leur vulnérabilité aux pluies acides.

188. Rennie, P.J. 1983a. United States - Canada memorandum of intent on transboundary air pollution. Impact Assessment Work Group No. 1, Final Report. Summary - Terrestrial Ecosystem Impacts, Ch.1/13-1/16. Terrestrial Impacts, Ch. 4/1-4/116. (SCF-AC)

Il s'agit du rapport final (phase III), considérablement développé par rapport à celui de la phase II ou au rapport provisoire de 1981. L'auteur passe en revue toute la littérature technique valable afin d'obtenir une synthèse réfléchie des connaissances

actuelles sur les effets des polluants transportés au loin sur les forêts, les sols, les récoltes et la faune.

Effets sur la végétation Trois grands polluants causent des préoccupations, soit l'anhydride sulfureux, l'ozone et les retombées acides. L'ozone et les retombées acides atteignent des concentrations plus fortes que les concentrations naturelles à de grandes distances des sources de rejets. Par contre, les rejets d'anhydride sulfureux ne causent en général des préoccupations que localement.

1) Anhydride sulfureux : près des sources ponctuelles d'anhydride sulfureux, celui-ci endommage la végétation de façon visible ou discrète (sans apparition de dommages foliaires visibles). On associe les dommages visibles à l'action de fortes concentrations d'anhydride sulfureux pendant de courtes périodes, ou à celle de faibles concentrations pendant de longues périodes. Toutefois, dans un faible nombre de cas particuliers, les retombées de SO_2 atmosphérique peuvent avoir des effets utiles sur les cultures poussant dans des sols carencés ou pauvres en soufre.

   On a observé des effets visibles du SO_2 dans certaines forêts canadiennes de pins exposés, pendant leur période végétative, à de l'air contenant en moyenne 0,017 ppm de dioxyde de soufre. L'endommagement visible du feuillage persistant des conifères cause la chute prématurée des aiguilles, le ralentissement de l'accroissement radial des fûts et la mort prématurée des arbres. On a également observé un ralentissement de la croissance et du rendement des récoltes sans apparition de dommages visibles lors de certaines études expérimentales sur le terrain.

   On a incriminé l'anhydride sulfureux, présent dans l'atmosphère au taux moyen annuel de 0,02 ppm, d'avoir modifié l'habitat des pâturages et fait disparaître certaines espèces sensibles de lichens près des sources ponctuelles de ce gaz. Les lichens peuvent ainsi être altérés très fortement et on les considère comme des bio-indicateurs très sensibles de faibles teneurs de l'air en anhydride sulfureux. Une concentration moyenne annuelle de 0,000 6 à 0,03 ppm de SO_2 dans l'air suffit à produire des dommages visibles sur la végétation, à réduire leur potentiel biotique et à accroître le taux de mortalité chez certaines espèces.

   En dépit de ces preuves des effets directs du SO_2, il faut reconnaître que la plupart des expositions à l'anhydride sulfureux à l'échelle régionale se produisent dans une atmosphère où sa concentration est inférieure au seuil d'action phytotoxique. Certaines études de toxicité à faible dose sur longue période ont illustré les effets directs de l'anhydride sulfureux sur les lichens et ses effets indirects sur plusieurs espèces végétales.

2) Ozone : l'ozone est le plus important des polluants transportés à distance et ayant le plus d'effets sur la végétation. Les vents transportent l'ozone et ses précurseurs sur de grandes distances, affectant les récoltes et les forêts dans des régions rurales très éloignées des sources. Par exemple, on a observé l'endommagement de récoltes dans l'Ontario méridional par des masses d'air à forte teneur en ozone traversant le lac Érié. Aux É.-U., on a relié des diminutions de rendement des récoltes expérimentales atteignant de 2 à 56 % (selon la nature de la récolte) aux concentrations saisonnières moyennes d'ozone sur 7 $h.d^{-1}$, équivalant à 0,06-0,07 ppm. Les diminutions du rendement de diverses récoltes étaient les suivantes : graines de soja, 10 %; arachides, de 14

à 17 % et laitue, de 53 à 56 %. Bien qu'on ait observé les effets directs de l'ozone sur la croissance des forêts, il est difficile d'évaluer les pertes, à cause des limites évoquées dans le rapport principal.

3) Retombées acides : on a montré que les retombées acides sous forme d'eau acidulée causaient divers effets directs et indirects chez des plantes croissant dans des serres ou dans des enceintes à réglage partiel des facteurs de croissance.

À la suite de telles aspersions d'eau acidulée, on a observé des dommages aux feuilles et un ralentissement ou une accélération de la croissance des plantes soumises aux essais. Toutefois, on n'a pas observé de dommage visible chez les plantes exposées à l'extérieur, aux taux d'acidité des précipitations naturelles. Il est difficile de prévoir les effets possibles de ces précipitations sur la végétation forestière, en raison des effets complexes d'autres facteurs climatiques et d'environnement. On n'a réalisé jusqu'à présent qu'un nombre insuffisant d'études sur les interactions entre retombées acides, gaz sulfureux et ozone pour qu'il soit possible d'en tirer des conclusions valables.

Effets sur la faune terrestre : On n'a pas signalé d'effets directs des retombées acides sur la faune terrestre, et ils paraissent peu probables. Néanmoins, on a indiqué que, dans certains cas, trois mécanismes pourraient produire des effets indirects :

1) intoxication par des métaux lourds libérés par l'acidification du sol;

2) réduction de la valeur nutritive de l'herbe des pâtures ou d'autres substances alimentaires;

3) disparition des espèces broutables, ou endommagement des habitats.

Effets sur le sol : les propriétés des sols varient fortement, tout comme les groupements végétaux qui y poussent; les sols subissent diverses façons aratoires, ils sont situés dans des zones climatiques différentes et ils reçoivent toute une gamme de retombées acides. Il est probable que les effets décrits ci-après se produisent, ce qui, dans certains cas, est étayé par des observations. Cependant, ce n'est que rarement que les chercheurs ont pu attribuer l'augmentation d'acidité aux précipitations ou comparer les valeurs de pH actuelles à des valeurs antérieures sur le terrain.

Sur les sols issus de roches calcaires, les retombées acides n'entraînent que des augmentations insignifiantes des besoins en chaux, sauf aux alentours de fortes sources ponctuelles d'acidité. D'autres industries rejettent des particules de métaux lourds qui rendent le sol toxique.

Dans les terrains acides, les mesures dendrométriques d'accroissement radial des fûts portant sur plusieurs décennies n'ont pas mis en évidence d'effets certains des pluies acides sur la croissance des arbres, suggérant qu'elles ne produisent pas d'effet à court terme.

Les quelques études menées sur place, pour lesquelles il existait une étude antérieure permettant une comparaison sur une période de durée suffisante, ont indiqué que les sols les moins acides s'acidifient et perdent leurs bases à un rythme plus rapide que celui d'une météorisation normale. Dans le cas des sols très acides, le

pH ne paraît guère changer, alors qu'au cours de la même période des quantités allant de modérées à fortes d'aluminium du sol se trouvent mobilisées. Ceci est dû à la couverture forestière qui peut être caducifoliée (par exemple les hêtres) ou persistante (par exemple les épinettes).

Une étude exhaustive sur le terrain a montré que la mobilisation de quantités supplémentaires d'aluminium dans le sol tue les racines actives et facilite l'invasion fongique responsable du dépérissement des arbres; on ne sait toutefois pas si ce phénomène survient à d'autres emplacements et dans d'autres sols. Grâce à diverses études hydrologiques, limnologiques et de bassin-versant, on a pu établir avec une quasi-certitude que les apports acides peuvent causer la mobilisation de quantités supplémentaires d'aluminium sous forme soluble, ce qui perturbe l'équilibre antérieur aluminium/calcium des sols, des sédiments et des eaux courantes. On indique que les quantités de bases disponibles pourraient diminuer, réduisant ainsi la fertilité du sol.

Les sulfates des retombées acides semblent absorbés par les sols contenant des oxydes d'aluminium et de fer sous forme active, mais quand ceux-ci sont absents ou présents en faibles quantités seulement, l'anion sulfate se comporte comme agent d'équilibre ionique, ce qui entraîne des exportations de substances basiques et d'autres cations par lessivage.

Le sort des nitrates dépend des caractéristiques chimiques des précipitations humides et de l'eau de fonte des neiges. Les nitrates qui atteignent les horizons organiques superficiels des sols forestiers acides y sont retenus pour être assimilés par les racines des arbres au cours de la période végétative. Toutefois, il existe des bassins-versants boisés dans le Nord-Est où les nitrates passent dans les eaux.

Les chercheurs ont été obligés d'étudier indirectement certaines questions ou directement certaines situations particulières à cause de l'absence de méthode expérimentale permettant d'évaluer les effets des retombées acides sur le sol et de calculer le plafond sécuritaire de ces apports. Par exemple, on effectue des recherches aux alentours d'importantes sources ponctuelles de rejets, on étudie des sols auxquels on a ajouté des engrais acides et on élabore des études lysimétriques avec aspersion d'eau acidulée (pluies simulées). Ces méthodes ont permis de mettre en évidence certains effets de l'acidification des bois, la plupart indésirables mais, à ce jour, il reste à mesurer les relations dose-réponse sur le terrain.

Évaluation de la vulnérabilité : Les régions peut-être les plus sensibles aux précipitations acides contiennent un ou plusieurs composants (par exemple : forêts, faune aquatique, sols ou eaux) vulnérables aux retombées acides. C'est la rapidité de dégradation de ce composant soumis à une charge acide déterminée qui mesure sa vulnérabilité relative. On a utilisé divers critères de base pour caractériser la vulnérabilité des différents composants des écosystèmes, par exemple le taux d'accroissement des arbres, la description des teneurs en base du sols ou l'alcalinité des eaux. Ces critères sont souvent imprécis, car on ne connaît pas grand-chose au sujet du rapport dose d'apports acides/réponse. C'est pourquoi on ne peut quantifier ou cartographier qu'approximativement les vulnérabilités relatives, et encore, seulement pour quelques espèces végétales, écosystèmes ou impacts théoriques.

C'est parce que les résultats des études concernant les effets des précipitations acides sur la végétation et les écosystèmes sont d'intérêt restreint et mal compris actuellement qu'on s'intéresse plus particulièrement à la vulnérabilité et à la roche-mère. Selon l'approche utilisée, on s'est efforcé de cartographier une gamme de paramètres potentiellement importants pour le sol, et pouvant servir de «meilleur

indicateur disponible» de leur vulnérabilité relative. Parmi ces paramètres, mentionnons la texture du sol, son épaisseur jusqu'à l'horizon calcaire, son pH et sa capacité d'échange cationique, ainsi que les caractéristiques d'érosion glaciaire et celles de la roche-mère. L'absence de certaines données concernant quelques paramètres importants (par exemple, la capacité d'échange anionique pour le sulfate, la production interne d'ions H^+ et le rôle des apports secs) empêche qu'on puisse utiliser ces paramètres pour quantifier avec précision la vulnérabilité des ressources terrestres ou aquatiques. Dans la mesure du possible, on utilise un cadre conceptuel similaire pour délimiter en gros les zones des diverses vulnérabilités aux précipitations acides dans l'Est tant canadien qu'étatsunien. Les diverses catégories prendront plus d'importance à mesure qu'on pourra mieux décrire ces effets des précipitations acides.

189. Rennie, P.J. 1984. Forest resources, air pollution, insects and diseases and other stresses: some relationships. *In.* Rep. 18th Meet., Study Group on Forest Insects and Diseases, North Am. For. Comm., FAO, 29-31 Oct. 1984, Cuernavaca, Mexico. Appendix IV(b). (SCF-AC)

Les ressources forestières de l'Amérique du Nord ont une valeur inestimable sur les plans social, économique et autres, mais de nombreux changements sont en train de s'y produire. On utilise des méthodes d'aménagement intensif et on s'attend à des rendements plus élevés; les contraintes et les stress se sont multipliés, et notamment la pollution.

Antérieurement, les effets produits par d'importants rejets ponctuels de polluants étaient facilement discernables, mais ceux des nouvelles formes de pollution, souvent des mélanges de polluants qui agissent à de faibles concentrations pendant de longues durées, sur des superficies plus grandes, le sont moins.

Pour savoir comment cette nouvelle forme de pollution peut nuire à nos forêts, il faut analyser plus en détail les facteurs écologiques de l'accroissement des forêts et savoir comment les modifier.

Les manifestations extérieures des stress et du changement comprennent les déséquilibres nutritionnels des tissus ligneux ou du sol, les difficultés de croissance et une plus grande vulnérabilité aux maladies et aux attaques des insectes. Ces phénomènes peuvent avoir un certain nombre de causes, qu'on a parfois de la peine à discerner et à évaluer.

Il ne faut pas sous-estimer les répercussions possibles de ces changements. L'expérience des pays d'Europe centrale montre qu'en apparence, la forêt continue à se développer, et que tout semble aller assez bien... jusqu'à ce que de grands massifs forestiers dépérissent.

Nonobstant la publication de plus en plus fréquente d'articles qui traitent des effets de la pollution sur l'incidence des maladies et des pullulations d'insectes dans les forêts, et de l'utilisation de ces organismes comme bio-indicateurs d'une altération de la santé des arbres, ces questions méritent qu'on leur accorde plus d'attention.

Le Canada met en place un Dispositif national d'alerte rapide pour les pluies acides qui réunit des spécialistes de nombreuses disciplines en vue de détecter de façon exhaustive les anomalies de la croissance des arbres.

190. Rennie, P.J. 1985a. Atmospheric pollution and forest resources: the nature of the threat. For. Ind. Lect. Ser. No. 15, Univ. of Alberta, Edmonton (Alberta). (SCF-AC)

Beaucoup reconnaissent les apports des forêts du Canada sur les plans économique, social et écologique, mais peut-être n'accorde-t-on pas assez d'attention à l'interdépendance des grands secteurs d'activité de l'industrie du bois, soit la production d'un côté, et la fabrication et la transformation de l'autre. Il faut insister sur leurs caractéristiques communes : les apports qui compensent les retraits, l'évolution conditionnée par l'innovation et des attentes nourries par la demande, mais limitées par des facteurs inconnus. L'auteur examine en particulier les risques causés par la pollution atmosphérique, leur apparition future, mais non imminente dans la plupart des régions forestières, et aussi leur potentiel de désorganisation de la production forestière par des voies inattendues. Certaines interactions complexes entre polluants peuvent altérer directement les tissus des arbres, entraver le processus de croissance, dégrader les sols et réduire leur fertilité, et diminuer la résistance des arbres aux maladies et à la pullulation des insectes par des interactions complexes et mal connues. Les méthodes d'aménagement forestier sont en évolution constante. Les peuplements naturels des quelque 160 millions d'hectares de forêts accessibles et exploitables commercialement ont largement été convertis en peuplements de deuxième et de troisième venues à courte révolution, qui sont exploités de manière plus intensive qu'auparavant. On ignore largement les effets à long terme de cette exploitation intensive du sol forestier. Environ 30 % de ce domaine forestier, soit 7 millions d'hectares dans l'Ouest canadien et 40 millions dans l'Est, sont exposés à de notables concentrations atmosphériques de polluants en mélanges d'une composition imprécise. On croit qu'à l'avenir, la concentration de certains d'entre eux, notamment du gaz sulfureux, va diminuer, mais celle d'autres polluants comme l'ozone et les produits organiques volatils ne diminuera nullement; ainsi, les sols forestiers et les arbres seront-ils soumis à des stress d'une ampleur inconnue. La pollution de l'air nuit déjà aux sols mais, autant qu'on sache, pas aux forêts de résineux. Dans l'Est, cependant, les feuillus sont durement touchés par le dépérissement et certains spécialistes croient que la pollution atmosphérique en est la cause, ou du moins un facteur d'aggravation. Les chercheurs en foresterie devront s'efforcer de comprendre le comportement des écosystèmes forestiers aussi bien que leurs collègues de l'industrie de fabrication. Les conditions du milieu changent, notamment la qualité de l'air et l'utilisation des sols et des forêts; il faut donc élaborer des lignes directrices rationnelles et fiables à l'intention des forestiers, afin qu'ils puissent accroître la fertilité des sols ou améliorer la qualité de l'air. C'est seulement de cette façon que les forestiers pourront assurer les approvisionnements permettant de satisfaire les besoins des scieries en matière ligneuse.

191. Rennie, P.J. 1985b. Evidence for effects on Canadian forests. Pages 111-122 *in* Air Pollutant Effects on Forest Ecosystems, 8-9 May, St. Paul, MN. The Acid Rain Foundation. (SCF-AC)

Sauf à proximité de fortes sources ponctuelles de polluants atmosphériques, on n'a pas découvert d'exemple certain d'endommagement de forêt par une pollution atmosphérique régionale. Cinquante-cinq pour cent de la zone forestière de l'Est canadien sont exposés à de notables retombées acides; c'est pourquoi on se préoccupe de la fertilité à long terme des sols podzoliques où poussent les forêts mélangées et de résineux. On rapport des cas de chlorose, et les résultats des expériences de simulation de précipitations acides indiquent que les tissus des arbres y sont vulnérables. On observe un dépérissement considérable des érables à sucre au Québec et en Ontario; sa cause est controversée. Cette zone forestière reçoit des retombées

de polluants, mais d'autres stress l'affectent, comme la prolifération des chenilles à tente estivale, la sécheresse et d'autres phénomènes climatiques exceptionnels. L'étude des sols de certaines forêts montre qu'il s'y produit une exportation notable d'éléments fertilisants.

192. Rennie, P.J. 1985c. Future scientific research programs and management approaches. Pages 347-365 *in* Air Pollutant Effects on Forest Ecosystems, 8-9 May, St. Paul, MN. The Acid Rain Foundation. (SCF-AC)

Le Service canadien des forêts a élargi son programme de recherche sur la pollution de l'air. Naguère quelques chercheurs étudiaient la pollution produite par les grandes sources ponctuelles; c'est maintenant une équipe de plus de 25 spécialistes disposant d'un budget de 2 M$ qui est à l'oeuvre. L'existence du Dispositif national d'alerte rapide pour les pluies acides qui s'appuie sur plus de 100 stations d'observation permanente montre que les recherches sont poursuivies dans toutes les régions du Canada; cependant, on met d'accent sur l'étude des processus biologiques au sein des forêts de l'Est canadien, les plus fortement exposées. Deux phénomènes préoccupants s'y manifestent : tout d'abord, certaines forêts, surtout d'érables à sucre et de bouleaux, sont sérieusement affectées par le dépérissement ou la défoliation; en second lieu, certaines forêts de résineux ne présentant pas encore de signe visible de dégradation, poussent dans des sols vulnérables aux retombées acides. Un des volets importants du Programme est l'instrumentation des aires d'alimentation en vue d'établir les bilans hydriques et nutritionnels des massifs forestiers; mais on développe les essais d'aspersions acidulées pour l'étude des réactions des cuticules et des mycorhizes aux effets des pluies acides simulées contenant d'autres polluants. On considère que les travaux sur la mobilisation et la toxicité de l'aluminium dans les sols acides sont d'importance particulière; en outre, on s'intéresse de plus en plus à la suffisance du bilan nutritionnel, car celui-ci semble varier en sens inverse de la pollution et du dépérissement. Il faudrait accorder plus d'attention aux interactions entre polluants et organismes nuisibles, tout comme celles qui se produisent entre polluants et climat.

193. Rennie, P.J. 1985d. Air pollution and forest resources: the nature of the threat. *In* Proc. Conf. sobre aspectos de la contaminación a los Recursos forestales, 16-17 mai, Secretaría de Agricultura y Recursos hidraúlicos, Subsecretaría forestal, Mexico (Mexique). (SCF-AC)

L'industrie forestière fait face à des épreuves toujours plus grandes : il lui faut accroître sa productivité alors que ses ressources ligneuses diminuent, dans un cadre peu favorable à l'adoption des méthodes culturales utilisées en agriculture, alors même que l'environnement est parfois sérieusement pollué.

L'auteur décrit la situation qui prévaut au Canada. Les forêts productives ne couvrent que le tiers des quelque 900 millions d'hectares du pays; en outre, à peine plus de 160 millions d'hectares de forêts sont économiquement exploitables. Les incendies et les organismes nuisibles réduisent cette base de ressources, et la pollution atmosphérique en affecte 55 % dans l'est et 7 % dans l'Ouest du pays.

Dans l'Est canadien, la croissance des espèces forestières importantes est, depuis 1960, inférieure aux prévisions et, depuis 1980, le dépérissement affecte gravement les érablières; on voit mal ce qui cause ces deux phénomènes. On a mis en oeuvre de grands programmes de réduction des rejets d'anhydride sulfureux, qu'on compte réduire de 50 % entre 1980 et 1994. En ce qui concerne les rejets de NO_x dans les gaz d'échappement des automobiles construites à partir de 1988, ils devraient

diminuer de 66 %. On a lancé de grands programmes de recherches afin de mettre en évidence les polluants atmosphériques contre lesquels il faut lutter par priorité et les taux de réduction nécessaires. Ces programmes comprennent la surveillance continue de l'état des forêts et des études phénoménologiques conçues pour mesurer les rapports dose/réaction. Il s'agit ici de mesurer les effets directs de la pollution sur les tissus des arbres, et ses effets indirects par le truchement du sol, ou par les interactions entre climat, maladies et infestations d'insectes.

194. Rennie, P.J. 1985e. Forestry and pollution. Essay review of 12th Int. Stud. For. Symp., Edinburgh, Scotland. For. Chron. 61:415. (SCF-AC)

L'auteur fait le tour d'horizon des principales communications, en leur adjoignant ses remarques au sujet de leur importance et de leur portée plus générale.

195. Rennie, P.J. 1985f. Acid rain. *In* Compte rendu des témoignages et documents soumis au comité spécial sur les précipitations acides, Chambre des communes, 17 décembre. App. et Serv., Ottawa. Série 5. (SCF-AC).

L'auteur évoque l'étendue de la forêt canadienne et délimite les régions exposées à des polluants atmosphériques de types différents. Il décrit les cinq principales composantes du programme de recherche du SCF et précise ce que chacune d'entre elles peut accomplir. Il souligne l'importance de la recherche sur la mesure du rapport de dose à effet qui permettra d'élaborer, sur une base scientifique, une stratégie de lutte contre la pollution. Il met en relief l'utilité du Dispositif national d'alerte rapide s'étayant sur plus de 100 stations d'observation permanente. L'effort spécial de surveillance et d'évaluation qu'on y accomplit permet de détecter les signes avant-coureurs de dommages dus à la pollution et de vérifier l'efficacité des mesures de réduction de la pollution déjà appliquées.

196. Rennie, P.J. 1986a. A review of Canadian investigations (in air pollution). *In* 67th Annu. Meet., Can. Pulp Pap. Assoc., Woodlands Sect., Montreal. Sess. 9: Acid deposition and forest health. (SCF-AC)

Soixante-douze pour cent de la superficie de la forêt canadienne ne paraissent pas exposés à la pollution atmosphérique, mais il demeure que 39 millions d'hectares de forêts dans l'est du Canada et 7 millions d'hectares dans l'Ouest sont exposés à une pollution notable. Les rejets de gaz sulfureux diminuent, mais malheureusement pas ceux d'oxydes d'azote et d'hydrocarbures volatils, précurseurs de l'ozone. Par mesure de précaution, on surveille la croissance et l'état des forêts grâce à de nouvelles techniques; différentes études phénoménologiques fournissent des données sur les rapports doses/effets qui sont indispensables pour l'élaboration d'une stratégie rationnelle de lutte contre la pollution.

197. Rennie, P.J. 1987a. The significance of air pollution to forest decline in Canada. Pages 321-334 *in* L. Kairiukstis, S. Nilsson et A. Straszak, eds., Proc. Workshop on Forest Decline and Reproduction: Regional and Global Consequences, 23-28 march, Int. Inst. Appl. Syst. Anal., Pol. Acad. Sci., Int. Union For. Res. Org., Kraków, Poland. (SCF-AC)

Les forêts couvrent une partie importante des 909 millions d'hectares des terres canadiennes; ces forêts préservent la stabilité des sols abritent la faune, limitent les inondations et servent à des fins ludiques pour l'homme. Le tiers environ de ces forêts est exploitable commercialement, et l'industrie forestière récolte chaque

année la matière ligneuse dans environ 760 000 hectares, et elle en tire des produits du bois pour un montant de 29 G$.

Les contraintes climatiques limitent la productivité de cette forêt de résineux, en général semi-naturelle, qui s'éclaircit toute seule et subit des pertes importantes par les feux de forêt et l'attaque de maladies et d'insectes. C'est pourquoi le dépérissement et la mortalité apparaissent comme des phénomènes normaux.

Outre la pollution provenant de sources locales bien connues, une pollution régionale notable menace 7 millions d'hectares de forêts dans l'Île de Vancouver et dans la Chaîne côtière, ainsi que 39 millions d'hectares dans l'Est canadien. On connaît bien les retombées de sulfates et de nitrates qui constituent une partie de la charge polluante, mais mal les oxydants photochimiques, les substances organiques volatiles et les poussières de métaux potentiellement toxiques.

En principe, la pollution affecte les forêts par le truchement de trois mécanismes : l'endommagement direct des tissus végétaux, la réduction indirecte et cumulative de la fertilité des sols et les interactions complexes des polluants avec d'autres stress comme le froid et la chaleur, la sécheresse, les maladies et les pullulations d'insectes.

La surveillance constante des forêts du Canada par les spécialistes du Relevé des insectes et des maladies des arbres n'a révélé aucun dépérissement ni aucun effet visible de la pollution atmosphérique à l'échelle régionale dans les principales forêts de résineux. Par contre, on observe un grave dépérissement des érables à sucre (*Acer saccharum* Marsh.), qui se généralise dans les forêts mélangées et caducifoliées du sud de l'Ontario, du Québec méridional et du Nouveau-Brunswick. Les forêts atteintes subissent une forte pollution atmosphérique et aussi d'autres stress, notamment l'attaque des insectes, des rigueurs météorologiques exceptionnelles, des facteurs particuliers aux terrains eux-mêmes et les pressions de l'aménagement forestier.

On a pris d'importantes mesures de lutte contre la pollution et la recherche porte sur les rapports de cause à effet, ainsi que sur l'élaboration des mesures correctrices. On pourrait, par exemple, limiter encore plus les rejets de particules d'une nature donnée ou accomplir des travaux sylvicoles pour accroître la résistance des arbres ou rétablir la fertilité des sols.

198. Rennie, P.J. 1987b. Air pollution and the forestry sector: challenges and requirements. Dans D.P. Lavender, dir. de publ. Proc. IUFRO Workshop on Woody Plant Growth in a Changing Physical and Chemical Environment, Univ. de la C.-B., Vancouver (C.-B.) (SCF-AC)

Malgré leur apparente stabilité, les forêts du Canada connaissent une importante transformation. Dans quelque 160 millions d'hectares de forêts exploitables commercialement, on a largement converti les peuplements naturels en peuplements de deuxième et de troisième venues à courte révolution, qui sont exploités plus complètement qu'auparavant. On ignore largement les effets à long terme de cette utilisation plus intensive du sol. Environ 30 % de cette forêt, soit 7 millions d'hectares dans l'ouest et 40 millions d'hectares dans l'est du pays, sont exposés à une pollution atmosphérique notable de composition mal connue. On croit que la concentration en certains de ces polluants, notamment l'anhydride sulfureux, va diminuer à l'avenir, mais que celle de certains autres polluants comme l'ozone et les substances organiques volatiles se maintiendront, soumettant les sols forestiers et

les arbres à des stress d'une ampleur inconnue. La pollution atmosphérique a déjà affecté les sols mais non les forêts de résineux, autant qu'on sache. Dans l'Est, les forêts caducifoliées sont durement atteintes par le dépérissement, et certains spécialistes estiment que c'est la pollution atmosphérique qui en est la cause, ou du moins un facteur d'aggravation. Il faut que les forestiers acquièrent une meilleure connaissance du fonctionnement des écosystèmes forestiers dans une période de transformation rapide du climat et des sols, et des méthodes d'aménagement. Il faudra établir les rapports dose/réaction pour préciser quelles doivent être les normes de qualité de l'air dont les organismes de réglementation devront s'inspirer pour assurer la pérennité de la production forestière.

199. Rennie, P.J. 1988a. Excess nitrogen deposition -- a Canadian perspective. *In* Proc. Excess Nitrogen Deposition Workshop. Cent. Electr. Res. Lab., Leatherhead, UK (sous presse). (SCF-AC)

La concentration de nitrates dans les précipitations de l'Est canadien (de 0,6 à 2,5 mg $NO_3.L^{-1}$) est généralement plus faible qu'en Europe centrale (>2,2 mg $NO_3.L^{-1}$); la quantité de nitrates déposés annuellement sous forme humide dans les forêts mélangées et résineuses de l'est du Canada varie entre 10 et 30 $kg.ha^{-1}$. Il n'y a donc guère lieu de s'inquiéter de la pauvreté en azote bien connue des podzols septentrionaux, d'autant que les taux de croissance obtenus à la suite de l'application d'engrais azoté sont satisfaisants. Cependant, il faut prendre d'autres facteurs en considération. Près de la moitié de l'acidité des précipitations dans l'est du Canada est attribuable aux nitrates. Les retombées de nitrates augmentent alors que celles de sulfates diminuent. Les nitrates n'étant pas entièrement assimilés par les arbres contribuent à l'exportation des éléments fertilisants dans les éluats, à la mobilisation de l'aluminium et à l'acidification des lacs. On ne peut considérer séparément les retombées de nitrates et les rejets d'oxydes d'azote et, de plus, leur rôle de précurseurs du NO_3 et du O_3 doit être évalué avec précision avant qu'on ne puisse élaborer une stratégie de réduction de la pollution par les NO_x.

200. Rennie, P.J. 1988b. Acidic precipitation: effects on forests. Pages 123-136 *In* A.S. Lefohn and S.V. Krupa, eds., Proc. APCA Int. Conf. on Acidic Precipitation: A technical Amplification of NAPAP's Findings, January, Air Pollut. Control Assoc., Pittsburgh, PA. (SCF-AC)

L'auteur fait l'étude critique de l'évaluation provisoire de la NAPAP et, en particulier, des trois documents portant sur les forêts : le chapitre 7, qui est détaillé, son aperçu et son précis administratif. Il accorde une attention particulière aux conclusions, à leurs incidences scientifiques et à leur fiabilité, et développe son exposé en évaluant la pertinence du traitement des problèmes.

Le chapitre 7 constitue un sommaire remarquable des très nombreuses études fort diverses qui constituent le programme permanent de la NAPAP, ainsi que des conclusions scientifiques issues d'autres programmes. Huit cas concrets de dépérissement des forêts sont examinés, afin de déterminer si la cause en est un dépôt acide, le SO_2, les NO_x, le O_3 ou le H_2O_2 (mais non les produits organiques volatils), isolément ou en combinaison. Il s'agit de fournir une assise scientifique à l'élaboration des lignes de conduite administrative en matière de forêts aux États-Unis.

Dans seulement quatre cas possède-t-on des preuves ou de bonnes présomptions qu'un polluant atmosphérique, l'ozone, a provoqué un dépérissement forestier ou y a contribué; cependant, on soupçonne que ce polluant ralentit la croissance de presque

toutes les forêts des États-Unis. Les retombées acides ou le SO_2 et le NO_x à l'état gazeux d'origine régionale ne semblent pas nuire à la croissance, à en juger par leurs effets directs sur les feuilles; cependant, l'expérimentation n'a pas été suffisamment poussée pour qu'on sache si ces polluants pourraient avoir des effets physiologiques internes sur les arbres, réduire la fertilité de certains sols forestiers, ou agir en synergie avec des stress naturels. Dans certains cas, on a des indications qui ne sont pas mentionnées dans l'évaluation, mais qui montrent que ces mécanismes fonctionnent bel et bien, ou que des stress naturels sont prédominants.

Ces constatations importantes et les contraintes qu'elles évoquent ne sont pas clairement mentionnées dans le précis administratif. Certaines sont négligées et des allégations sont avancées, sans trouver de justification dans le chapitre 7. Ces dernières sont réconfortantes à un degré qui n'est pas partagé par la plupart des chercheurs. L'argumentation scientifique du chapitre 7 souffre de faiblesses déconcertantes quand il traite des objectifs réalisables ou non; on peut craindre que certains des cas concrets servent de fin en soi plutôt que de moyen pour préciser quelles sont les caractéristiques générales de qualité de l'air nécessaires au maintien de la productivité des forêts. Cependant, dans l'ensemble, cette évaluation provisoire jette les fondations d'une action beaucoup plus complexe, exigeante et de longue haleine.

201. Rennie, P.J. 1988c. Field tour and catchment-basin approach; Canadian experience. *In* P.J. Rennie et G. Robitaille, directeurs de publication, Effets des précipitations acides sur les ressources forestières. Compte rendu du symp. tenu à Québec, 1983 (sous presse). (SCF-AC)

L'auteur donne les principales raisons d'inclure la méthode des aires d'alimentation dans le programme relatif à la pollution atmosphérique du Service canadien des forêts, et détermine rigoureusement ce qu'elle peut fournir ou non. Il décrit les trois aires d'alimentation choisies en particulier.

202. Rennie, P.J. 1988d. Air pollution; its implications for forest productivity. *In* Forest Climate '86, Symp./Workshop, Orillia, Ont. Can. For. Serv., Atmos. Environ. Serv., Ottawa, 1986 (sous presse). (SCF-AC)

On admet généralement qu'il faut protéger les forêts des dangers d'incendie et de l'attaque des insectes et des maladies, mais peut-être n'accorde-t-on pas assez d'intérêt à l'influence d'une combinaison particulière de facteurs climatiques, de qualité de l'air, de sols et autres sur la pérennité de la productivité des forêts.

La qualité de l'air couvrant de vastes massifs forestiers s'est sérieusement dégradée par suite des rejets d'anhydride sulfureux, d'oxydes d'azote, d'hydrocarbures volatils et de poussières métalliques potentiellement toxiques. Leurs interactions dans l'atmosphère et autres réactions ont produit un mélange de polluants dont on connaît mal les effets.

Il affecte directement les arbres par endommagement des tissus, ou indirectement par une réduction cumulative de la fertilité des sols, ainsi que par des interactions complexes avec d'autres stress comme les températures extrêmes, la sécheresse, les maladies et les insectes.

Bien qu'on ait déjà pris d'importantes mesures de lutte contre la pollution, les forestiers doivent acquérir une meilleure connaissance de celle-ci, en vue de concevoir des normes de qualité de l'air et des techniques d'aménagement forestier

permettant d'assurer la pérennité de la production forestière dans un contexte nouveau et en changement rapide. Il leur faut accorder une attention particulière à l'évolution du climat, aux phénomènes météorologiques exceptionnels et aux interactions entre climat et pollution atmosphérique.

203. Rennie, P.J.; Addison, P.A. 1986. Environmental forestry: a status report on research and development for 1985/86. Rapp. cons. serv. techn. rech., Serv. can. for., Ottawa (Ontario). (SCF-AC)

L'auteur fait le point des connaissances en matière d'impact de la pollution atmosphérique sur le dépérissement des forêts et le ralentissement de leur croissance, et décrit le programme TGDPA du Service canadien des forêts.

204. Rennie, P.J.; Halstead, R.L. 1977. The effects of sulphur on plants in Canada. Pages 69-179 *in* Sulphur and its inorganic derivatives in the Canadian environment. Associate Committee on Scientific Criteria for Environmental Quality, Natl. Res. Counc. Can., Ottawa. Publ. no. 15015. 426 p. (SCF-AC)

Contrairement à beaucoup de polluants, le soufre et ses composés proviennent aussi de phénomènes naturels et s'insèrent dans des processus cycliques englobant le sol, les eaux et l'atmosphère. Le soufre est indispensable à la vie végétale et animale, et il se trouve dans tous les tissus vivants. Cependant, on a méconnu son importance par rapport à d'autres éléments intervenant dans le métabolisme; on connaît mal son comportement dynamique dans le cycle sol-plante-animal et ses rôles nutritionnel et physiologique dans la croissance des plantes cultivées et des arbres.

En excès, certains composés du soufre sont toxiques pour les plantes; de fortes concentrations sont produites par des phénomènes naturels ou par l'industrie. Au Canada, celle-ci rejette chaque année quelque 6,5 millions de tonnes d'anhydride sulfureux. Cette pollution est préoccupante dans trois grandes régions et dans de nombreuses agglomérations isolées. Les principales régions sont celle de Sudbury en Ontario (13 700 km^2), le triangle Windsor-Sudbury-Montréal en Ontario et au Québec (150 000 km^2), ainsi que le triangle Grande Prairie-Edmonton-Pincher Creek dans le sud-ouest de l'Alberta (78 000 km^2). Les agglomérations isolées incluent notamment Noranda et Murdochville au Québec, Thompson et Flin Flon au Manitoba. Dans ces sept zones, on estime que les rejets annuels d'anhydride sulfureux atteignent 2,65, 0,86, 0,43, 0,71, 0,36, 0,17 et 0,12 millions de tonnes, respectivement.

Dans l'une des régions, soit celle de Sudbury, les rejets d'anhydride sulfureux menacent ou attaquent depuis très longtemps la végétation environnante. Dans le triangle Windsor-Sudbury-Montréal, ces rejets ne causent pas de pollution générale, mais l'expansion industrielle et urbaine incessante et la proximité d'importantes sources de rejets à Sudbury au nord, et aux États-Unis au sud-ouest, au sud et au sud-est, nécessitent une surveillance constante de l'état de la végétation et des cultures importantes de cette région. De la même façon, les rejets d'anhydride sulfureux du sud-ouest de l'Alberta ne constituent pas encore un problème général, mais les cultures agricoles de la région y sont particulièrement sensibles, et les possibilités d'autres rejets de SO_2 par les usines de désulfuration du gaz acide augmentent rapidement. Dans les agglomérations d'importance secondaire, les rejets d'anhydride sulfureux causent déjà de nombreux problèmes localisés.

On n'a pas encore fait d'évaluation précise de l'ampleur de cette pollution. Dans l'ensemble du pays, on considère qu'elle affecte une superficie comprise entre 1,1 et 2,5 millions d'hectares, dont la moitié se trouve dans la région de Sudbury. À

l'échelle du pays, 60 % de cette superficie est occupée par des forêts et 40 % par des cultures. L'étude d'autres statistiques, notamment des superficies affectées en Europe et des dommages causés aux forêts du Canada par les insectes, montre l'importance capitale de la pollution par l'anhydride sulfureux. On estime qu'elle cause annuellement des pertes directes de 1,2 à 2,8 millions de dollars qui auraient été payées sous forme d'impôts et taxes par l'industrie forestière, sans compter les pertes non chiffrables résultant de la destruction d'autres végétaux et organismes vivants, de la dégradation des sites et de la réduction de la fertilité des sols dans la région de Sudbury et dans les agglomérations de moindre importance.

Ce sont les rejets de grandes quantités d'anhydride sulfureux par les fonderies et d'autres traitements métallurgiques qui causent ces graves problèmes. La surveillance sur longue période de la concentration en SO_2 dans l'atmosphère de la région de Sudbury permet d'établir qu'elle a régulièrement dépassé la «concentration maximale admissible» en vertu de la Loi sur la lutte contre la pollution atmosphérique. La comparaison avec les concentrations mesurées en 1971 montre que la pollution n'a pas fortement diminué depuis, mais indique cependant que quelque progrès a été fait, peut-être grâce à la récupération du soufre et à d'autres mesures techniques prises dans les fonderies.

La solution consiste à réduire les rejets atmosphériques jusqu'à un niveau supportable. Différents facteurs d'ordre technique ou autre rendent cette solution plus difficile à mettre en oeuvre qu'elle ne paraît l'être en théorie, particulièrement quand il s'agit d'une pollution générale provenant de nombreuses sources dans les conurbations industrialisées. Mais le problème le plus épineux est de déterminer les «concentrations maximales admissibles» ou «maximales souhaitables». Une part considérable de l'effort de recherches sur la pollution porte sur cette question cruciale.

Les essais d'exposition à l'anhydride sulfureux de nombreuses plantes agricoles et forestières dans la région de Sudbury, par exemple, ont fourni des valeurs repères d'absence de lésion lorsque la concentration variable pondérée d'anhydride sulfureux ne dépasse pas 2 000 $\mu g/m^3$ sur une heure, 1 140 $\mu g/m^3$ sur 2 heures, 750 $\mu g/m^3$ sur 4 heures et 500 $\mu g/m^3$ sur 8 heures. Cependant, ces concentrations ne sont rien d'autre que des valeurs repères ne garantissant nullement la sécurité. Il est presque indispensable de fixer des plafonds inférieurs si le SO_2 agit en synergie avec d'autres polluants comme l'ozone ou les oxydes d'azote. Les plantes non vasculaires, lichens et bryophytes, sont plus sensibles que les autres à l'anhydride sulfureux et une longue exposition à des concentrations de 30 à 600 $\mu g/m^3$ de ce gaz peut les tuer. D'autres plantes et micro-organismes inférieurs jouant un rôle essentiel dans la croissance des plantes supérieures et le maintien de la fertilité du sol y sont aussi très sensibles.

Les normes de qualité de l'air en vigueur au Canada ménagent une certaine marge de sécurité entre elles et les concentrations qu'on sait causer des lésions chez les plantes cultivées et les arbres. Pour différentes raisons, cette marge de sécurité est plus rassurante dans le cas du «maximum souhaitable» (450 $\mu g/m^3$ pendant 1 h) que dans celui du «maximum admissible» (900 $\mu g/m^3$ pendant 1 h). Au fil des ans et dans différentes conditions climatiques, il a fallu abaisser les concentrations plafonds associées à des lésions. Les effets additionnés ou synergiques des mélanges de nombreux polluants souvent observés dans le réel ont aussi conduit à un abaissement de la concentration plafond en SO^2. Les plantes inférieures et les micro-organismes indispensables à la croissance des plantes supérieures des écosystèmes paraissent très vulnérables à l'anhydride sulfureux, mais on n'a guère fait de recherches à ce sujet, et beaucoup d'incertitudes persistent. Enfin, l'exposition au SO_2 a des effets cumulatifs

sur les tissus des plantes vivaces et sur les sols; ils entraînent une détérioration progressive plus grave que les concentrations atmosphériques de ce gaz ne laissent croire.

Il est évident qu'il faut constamment réviser ces normes, et il est indispensable d'accomplir un effort plus grand de recherches en ce domaine. Les chercheurs canadiens de diverses disciplines travaillant pour différents organismes devraient développer leurs interactions par le truchement d'un groupe permanent de travail. Il faut préciser l'envergure de la pollution dans différentes localités, et diffuser largement les résultats du programme de surveillance. Il faut aussi entreprendre des recherches sur les rapports entre exposition à l'anhydride sulfureux et lésions produites sur les plantes caractéristiques des régions nouvellement menacées, mais dont on ne connaît pas la vulnérabilité. Ces études d'impact devraient considérer la totalité de l'écosystème, afin de faciliter l'évaluation des répercussions sur le milieu des effets directs et cumulatifs de la pollution par le SO_2. Enfin, il reste beaucoup à faire pour l'élucidation du cycle du soufre entre sol, plantes et animaux; cette étude nécessite la participation de météorologistes, de géologues, de chimistes pédologues, de physiologistes, de nutritionnistes et d'autres encore pour donner une assise solide aux études d'impact et à l'extrapolation intelligente et fiable des résultats.

205. Rennie, P.J.; Robitaille, G., directeurs de publication. 1987. Effets des précipitations acides sur les ressources forestières. Compte rendu du symp. tenu à Québec, 1983 (sous presse). (SCF-AC)

Il s'agit du compte rendu de la conférence tenue à Québec sur le thème de l'action des pluies acides sur les écosystèmes forestiers. Ce compte rendu contient des exposés techniques sur la plupart des aspects de la réaction des forêts aux pluies acides, notamment le cycle des éléments fertilisants, les sols et les placettes expérimentales.

206. Riding, R.T.; Percy, K.E. 1985. Effects of SO_2 and other air pollutants on the morphology of epicuticular waxes on needles of *Pinus strobus* and *Pinus banksiana*. New Phytol. 99:555-563. (SCF-M)

Les auteurs ont observé que l'exposition d'aiguilles en voie d'élongation de *Pinus strobus* L. à l'anhydride sulfureux et à certains polluants atmosphériques non identifiés retarde le dépôt de vernis dans les chambres épistomatiques. Dès que le dépôt de vernis est achevé, les bâtonnets de vernis fusionnent et forment un vernis cireux ayant l'apparence de plaques. Apparemment, la mouillabilité des aiguilles augmente par suite de transformations dans le vernis cireux épicuticulaire accroissant leur vulnérabilité aux pluies acides qui y causent des lésions. Ce phénomène se produit sans qu'il y ait altération structurelle du complexe stomatique. Il ne semble pas se produire de modification de l'état du vernis cireux couvrant les aiguilles de *P. banksiana* Lamb. même chez les sujets exposés à des concentrations d'anhydride sulfureux ayant causé de graves lésions foliaires.

207. Roberts, B.A.; Thompson, L.K. 1980. Lichens as indicators of fluoride emission from a phosphorus plant, Long Harbour (Terre-Neuve), Canada. Can. J. Bot. 58:2218-2228. (CFTN)

La concentration de fluorures dans les lichens terricoles *Cladina rangiferina* (L.) Harm. et *Cladina stellaris* (Opiz.). Brodo est en corrélation négative avec leur éloignement sous le vent dominant d'une usine de phosphore située à Long Harbour (Terre-Neuve). La concentration en fluorures tombe de 2380 ppm en poids sec dans

les zones gravement endommagées, à proximité de la source de rejets, à 15,5 ppm (poids sec) à 12 km au nord-est de l'usine. Les échantillons témoins pris dans des régions non polluées contiennent en moyenne 6,4 ppm de fluorures en poids sec. La décoloration et la désorganisation des thalles sont les symptômes minimaux d'endommagement. Les effets de décoloration ne sont pas aussi prononcés chez ces *Cladina* que chez les *Abies balsamea* [L.] Mill. ou les *Polytrichum commune* Hedw.; cependant, si l'on tient compte en même temps de la désorganisation structurelle, il est aisé d'évaluer sur le terrain le degré d'endommagement de ces lichens. Les auteurs comparent la concentration en fluorures de ces lichens terricoles à celle de l'humus des sols d'*A. balsamea*, et de certains bryophytes terricoles dans les quatre zones d'endommagement. En moyenne, le tissu des lichens contient deux fois plus de fluorures que l'humus du sol provenant du point d'échantillonnage des lichens et environ la moitié de la concentration en fluorures trouvée dans le bryophyte terricole *P. commune*. Les auteurs étudient les effets des rejets de fluorures sur les lichens épiphytes *Hypogymnia physodes* [L.] W. Wats. et *Alectoria tosa* [Ach.] Ach. de la région.

208. Roberts, B.A.; Thompson, L.K.; Sidhu, S.S. 1979. Terrestrial bryophytes as indicators of fluoride emission from a phosphorous plant, Long Harbour (Terre-Neuve), Canada. Can. J. Bot. 57:1583-1590.

Les auteurs ont étudié l'impact des rejets de fluorures (HF; SiF_4) sur certaines espèces de bryophytes aux alentours d'une usine de phosphore élémentaire à Long Harbour (Terre-Neuve). Les symptômes d'endommagement vont d'une chlorose bénigne (jaunissement) des phyllides à un fort brunissement atteignant jusqu'à 95 % d'entre elles. C'est surtout le *Polytrichum commune* Hedw. qui a été utilisé pour cette étude. Les auteurs ont dosé les fluorures totaux dans des spécimens prélevés au hasard dans 45 points d'échantillonnage. La teneur en fluorures des tissus des phyllides va d'un maximum de 6 066 ppm (en poids sec) dans un échantillon prélevé à 1 km au nord-est de la source de rejets à 44 ppm (en poids sec) à 11,7 km au nord-est de la source, sous les vents dominants. Les échantillons témoins provenant d'emplacements semblables très éloignés de l'usine contiennent en moyenne 11,3 ppm (en poids sec) de fluorures. Sous les vents dominants, la concentration des fluorures dans les tissus des phyllides des bryophytes et le brunissement des organes basifuges varient en fonction inverse de l'éloignement de la source et les spécimens à forte teneur en fluorures produisent moins de sporophytes. Les auteurs comparent la concentration des fluorures dans les tissus des bryophytes à celles des aiguilles du sapin baumier (*Abies balsamea* L.) dans quatre zones d'endommagement, ainsi qu'à celles des fluorures totaux et disponibles dans l'humus, et aux teneurs de l'atmosphère en fluorures. L'utilisation de bryophytes comme indicateurs biologiques de la pollution, surtout aux endroits éloignés de l'usine, permet de mettre en évidence la totalité de la superficie affectée par les retombées de fluorures.

209. Robitaille, G. 1977. The effects of copper smelter effluents on vegetation. Thèse de phD, Univ. d'Ottawa, Ottawa. 272 p. (CFL)

L'auteur fait l'analyse et une description partielle des répercussions, sur l'environnement, des rejets de la fonderie de cuivre de la Gaspé Copper Mine à Murdochville (Québec) pendant 20 années. L'anhydride sulfureux et les poussières de métaux lourds comme le Cd, le Cu, le Pb et le Zn sont responsables des détériorations observées chez certains éléments biotiques et abiotiques qui constituent l'écosystème de forêt boréale.

L'auteur corrobore certains des articles les plus récents traitant des effets de l'anhydride sulfureux sur les lichens et les bryophytes, et décrit les effets des métaux lourds sur ces organismes. Il fait également un tour d'horizon du petit nombre d'articles traitant de l'utilisation des cernes des arbres comme indicateurs biologiques de pollution, particulièrement par les métaux lourds.

L'auteur commence par évaluer les effets de l'ensemble des polluants, notamment l'anhydride sulfureux et les métaux lourds, sur les lichens épiphytes et les mousses de la forêt boréale grâce à une carte des indices de pureté de l'air mettant en évidence un zonage qualitatif de la qualité de l'air, c'est-à-dire des gradients de pollution atmosphérique, en utilisant la sensibilité des lichens et des mousses épiphytes à la pollution. Les zones proches de la fonderie montrent un faible indice de qualité de l'air, des épiphytes peu abondants et un faible rapport abondance/couvert végétal. L'atmosphère de ces zones contient une forte concentration d'anhydride sulfureux, les eaux de ruissellement sur écorce d'*Abies balsamea* ont une forte teneur en métaux lourds, et l'acidité des eaux de pluie directe et de ruissellement sur écorce est élevée. L'accumulation de métaux lourds chez *Picea mariana*, *Clintonia borealis*, *Hylocomium splendens*, *Pleurozium schreberi*, *Hypogymnia physodes* et *Parmelia squarrosa* est la plus forte dans les régions proches de la fonderie, c'est-à-dire dans les zones à faible indice de pureté de l'air. En général, les lichens et les mousses accumulent plus de métaux lourds que les plantes vasculaires.

Les lichens épiphytes transplantés d'un secteur non pollué en des zones de pollution intense, moyenne, faible et de fond réagissent de façon prévisible aux charges de polluants. L'auteur a observé, dans les zones polluées, une perte d'adhésion des thalles, le ralentissement du développement des isidies, le rétrécissement des cellules de *Trebouxia*, une réduction du nombre de cellules en division ainsi qu'une augmentation du nombre de cellules d'algues mortes et plasmolysées dans les thalles de *P. squarrosa*. Les analyses spectrophotométriques montrent que les algues des thalles de lichens *P. squarrosa*, transplantées, et de *P. squarrosa* et *H. physodes* en situation naturelle perdent de plus en plus de chlorophylle à mesure que la concentration en polluants accroît.

L'auteur attribue les pluies acides dans la région à des rejets d'anhydride sulfureux dans l'atmosphère. Cette pluie acide modifie le substrat des épiphytes, c'est-à-dire l'écorce, et c'est ainsi que l'effet tampon de l'écorce d'*Abies balsamea* croît et diminue tour à tour; cependant, l'auteur a observé une réduction parallèle du pH des thalles de *H. physodes* et de *P. squarrosa*, et estime que ces changements entraînent l'accroissement de la teneur en bisulfite toxique et en métaux lourds dissous de l'eau de ruissellement sur écorce qui baigne les thalles des lichens; ce phénomène contribuerait à l'appauvrissement de la population de lichens épiphytes et de mousses dans la zone proche de la fonderie de cuivre. La conversion d'une partie de la chlorophylle de ces épiphytes en phéophytine et une réduction nette de la teneur en chlorophylle correspondant également à une augmentation abrupte de la teneur en métaux lourds des thalles des lichens peuvent étayer cette hypothèse.

L'auteur a essayé une méthode permettant de dater le début de la pollution atmosphérique dans la région à l'étude. Il a étudié le mode d'accumulation des métaux lourds dans les cernes annuels d'*A. balsamea*, ainsi que la variation d'épaisseur de ces cernes. Il note que leur teneur en métaux lourds a augmenté après le démarrage de la fonderie. En outre, il a observé une réduction concomitante de l'épaisseur des cernes dans les placettes polluées, et il explique les anomalies relevées.

L'auteur conclut que l'impact des rejets de polluants sur les éléments biotiques et abiotiques étudiés est bien réel.

210. Robitaille, G. 1979. Pollution et cernes annuels chez *Abies balsamea*. Pages 1-18 dans Compte rendu de la Conf. sur les contaminants dans le milieu, 14-15 mai, Château Frontenac, Québec. (CFL).

L'utilisation possible des cernes ligneux comme bio-indicateurs de la pollution de l'air suscite des controverses. L'auteur a entrepris cette étude en vue de : a) résoudre la controverse ou du moins éclaircir la question, b) illustrer l'impact des rejets de la fonderie de cuivre de Murdochville, en Gaspésie. Il a comparé l'état de deux placettes expérimentales dominées par *Abies balsamea*, l'une polluée, l'autre non, en mesurant la croissance des cernes au dixième de millimètre près, et en déterminant leur âge. Ensuite, regroupant les cernes par séquences de cinq, l'auteur a dosé leurs teneurs en Pb, Cu et Zn. Il conclut qu'il s'est produit une diminution de la croissance radiale d'*Abies*, contemporaine du démarrage de la fonderie (1955) et une augmentation de la concentration de Pb, Cu et Zn dans les cernes. Il faudrait confirmer ces observations sur *Abies balsamea* pour corroborer la validité de la méthode.

211. Robitaille, G. 1980. Acid precipitation and vegetation. *In* Proc. 73rd Annu. Meet. Exhib. Air Pollut. Control Assoc, Montreal, Que. Pap. No. 80-24.2. (CFL)

L'auteur présente l'une des rares études techniques sur l'accumulation de métaux lourds dans les cernes ligneux échantillonnés dans une forêt entourant la fonderie de Murdochville en Gaspésie; il présente également la première classification préliminaire et cartographie de la sensibilité des espèces forestières de l'Est canadien à cette pollution.

212. Robitaille, G. 1981. Heavy-metal accumulation in the annual rings of balsam fir, *Abies balsamea* (L.) Mill. Environ. Pollut. (Ser. B) 2:193-202. (CFL)

L'auteur compare les divers modes d'accumulation des Pb, Cu et Zn dans les cernes ligneux des sapins baumiers (*Abies balsamea* [L.] Mill.) poussant en forêt polluée et en forêt témoin non polluée, et leur taux d'accroissement respectif. Voici ses conclusions : 1) il se produit une décroissance graduelle de la teneur en métaux lourds des cernes anciens vers les cernes récents chez les sapins poussant dans une forêt non polluée; 2) ce processus s'inverse dans les cernes des arbres poussant en forêt polluée, à partir du début de la pollution; 3) il se produit un ralentissement marqué de l'accroissement des cernes proportionnel à l'accumulation des métaux.

213. Robitaille, G. 1983. Guide d'accompagnement, bassin d'alimentation du lac Laflamme, Forêt expérimentale de Montmorency. *In* P.J. Rennie et G. Robitaille, directeurs de publication, Effets des précipitations acides sur les ressources forestières. Compte rendu du symp. tenu à Québec, 1983 (sous presse). (CFL)

Ce guide décrit la mise en oeuvre du Programme TGDPA du Service canadien des forêts dans le bassin d'alimentation du lac Laflamme de la forêt de Montmorency, au Québec. Il fait une description biophysique de ce bassin d'alimentation et des études de TGDPA menées jusqu'en 1983. Le guide fournit les données de 1982 sur la composition chimique de la pluie directe, de l'eau de pénétration par les frondaisons, de l'eau de ruissellement sur écorce et de la solution des sols. Les eaux de pénétration des frondaisons et de ruissellement sur écorce sont plus acides que les

pluies et sont enrichies en tous les principaux ions (SO_4, Cl, PO_4, Ca, K, Mg, Mn, Na), à l'exception du NO_3 et du NH_4, qui ont peut-être été absorbés par le houppier des sapins baumiers.

214. Robitaille, G.; Boutin R.; Bernier, B. 1988. Interception chemistry associated with declining sugar maple in the Eastern Townships (Québec). Can. J. For. Res. (sous presse). (CFL)

L'érable à sucre dépérit dans les cantons de l'Est, au Québec. Les auteurs étudient la composition chimique des solutions dans une érablière passant par les premiers stades de dépérissement (Québec 1986). L'acidité de la pluie directe est réduite par le passage de l'eau au travers du houppier. Les eaux de pénétration des frondaisons sont considérablement enrichies en cations, (surtout Ca, K et Mg) et en anions. Le calcium, le potassium et le magnésium contribuent le plus fortement à l'enrichissement cationique. La solution des sols est acide et les cations les plus abondants y sont le Ca et le Mg. L'anion prédominant est le nitrate, suivi par le SO_4. Les auteurs analysent les conséquences de ces faits.

215. Robitaille, G.; LeBlanc, F.; Rao, D.N. 1977. Acid rain: a factor contributing to the paucity of epiphytic cryptogams in the vicinity of a copper smelter. Rev. Bryol. Lichenol. 43:53-66. (CFL)

En se fondant sur la présente étude, les auteurs concluent que les facteurs déterminant la vulnérabilité d'un groupement d'épiphytes à l'anhydride sulfureux sont, par ordre d'importance : la concentration atmosphérique d'anhydride sulfureux, le pH de l'eau de ruissellement sur écorce, le pH de l'écorce, le pH de l'épiphyte, l'effet tampon de l'écorce et les teneurs en composés sulfurés (ions bisulfite et acide sulfurique) qui se trouvent dans le thalle et autour de lui. En principe, l'agrégation de ces facteurs fournit une base valable pour l'élucidation des effets globaux de l'anhydride sulfureux sur les épiphytes.

216. Rutherford, D.G.; vanLoon, G.W.; Mortensen, S.F.; Hern, A. 1985. Chemical and pedogenetic effects of simulated acid precipitation on two eastern Canadian Forest soils. II. Metals. Can. J. For. Res. 15:848-854. (CFGL)

Les auteurs ont mesuré l'effet de pluies acides simulées sur deux sols podzoliques du Bouclier canadien tant sur le terrain qu'en laboratoire. Ils ont aspergé ces sols avec de l'eau désionisée et des solutions de NHO_3 et H_2SO_4 (en proportions molaires de 1 pour 2) aux pH 3,5 et 2,0, et ont mesuré, pendant 2 ans, les concentrations de l'eau interstitielle en Na, K, Mg, Ca, Fe, Mn et Al entre 15 et 60 cm de profondeur. La moitié des profils pédologiques reconstitués ont été démontés après 1 an. Les auteurs ont dosé leur carbone organique total, leurs cations échangeables Ca, Mg, K et Na, ainsi que leur acidité titrable. Les oxydes libres de fer et d'aluminium ont été mesurés selon trois différentes techniques d'extraction. La mobilisation d'Al dans la couche supérieure du profil du sol, jusqu'à une teneur de 40 mgL^{-1} au pH 2,0, a été suivie par une redéposition dans la partie inférieure du profil. Sous les aspersions les plus acides, le lessivage de Ca et Al a triplé, en poids, en particulier sur le terrain. Les auteurs présentent des données indiquant que l'affinité anionique du sol minéral réduit le lessivage des cations basiques. Dans l'un des sols, ils ont observé une diminution notable des oxydes de fer libres immédiatement sous l'horizon Ae.

217. Salonius, P.O.; Fisher, R.A.; Mahendrappa, M.K. 1982. An alternative method of measuring fertilizer effects in forest stands. Can. J. For. Res. 12:146-150. (SCF-M)

Dans les peuplements naturels, la variabilité des taux de croissance entre placettes avant épandage d'engrais, causée par la densité diverse des peuplements, leur composition et l'état des stations, empêche souvent l'évaluation de la réponse des arbres à l'épandage d'engrais par les méthodes habituelles de comparaison des placettes. Les auteurs décrivent une autre méthode, fondée sur la comparaison de cette réponse avec la croissance avant épandage d'engrais d'un peuplement d'épinettes noires, arbre par arbre. La mise en regard des résultats obtenus dans les placettes fertilisées et non fertilisées leur permet alors d'évaluer l'augmentation de croissance des arbres à la suite de l'épandage d'engrais. Les auteurs proposent des méthodes de calcul de données valables à partir de la réponse des arbres dans les expériences en cours, ou achevées, mais non encore chiffrées.

218. Salonius, P.O.; Mahendrappa, M.K. 1979. Respiration and nitrogen immobilization in forest soil treated with sulfur and urea. Soil Sci. 127:358-364. (SCF-M)

Les auteurs ont étudié la respiration d'échantillons de la couche organique de formation récente sur un podzol acide, et son pouvoir de fixation de l'azote, après traitement au soufre des placeaux et épandage de diverses quantités d'urée enduite de soufre. Ils ont incubé les échantillons à des températures de 10 et 20°C. L'hydrolyse des échantillons traités au soufre et incubés à 10°C était considérablement ralentie. Ce traitement a modifié la courbe d'élévation du pH et d'accroissement de la respiration attribuable à l'épandage d'urée, mais n'a eu que peu d'effets sur l'accessibilité de l'azote ammonique. C'est à la température la plus basse que la récupération de l'azote contenu dans l'engrais répandu en quantités modérées et produisant un pH acide a été suffisante. À température plus élevée, la récupération de l'azote contenu dans l'engrais était très mauvaise. À un pH basique, l'immobilisation d'une bonne partie de l'azote ne paraît pas le fait de micro-organismes.

219. Samoil, J.; Turdle, G., eds. 1984. Toxic substances and the forest environment. Can. For. Serv. Rep. 30. (CFN)

Il s'agit d'un exposé, destiné au grand public, sur les travaux du Centre de recherche forestière du Nord. Il se compose d'une série d'articles écrits par divers auteurs sur différents sujets comme les substances toxiques pour le milieu forestier (P.A. Addison), les effets du soufre élémentaire sur les végétaux (K.A. Kennedy), l'endommagement de l'écosystème forestier par les pluies acides (G.D. Hogan), la surveillance biologique des effets des polluants atmosphériques produits par l'extraction des hydrocarbures des sables bitumineux de l'Athabaska sur les forêts des alentours (P.A. Addison), l'action de la composition chimique du sol sur la productivité des forêts (D.G. Maynard), la présence de radionucléides naturels dans l'environnement (M.J. Apps), l'action des rejets de poussières métalliques sur l'écosystème forestier (G.D. Hogan) et les applications de la chimie et de la physiologie en recherche sur la pollution atmosphérique (S.J. L'Hirondelle).

220. Sarkar, S.K.; Malhotra, S.S. 1979a. Gas liquid chromatographic separation of common amino acids in pine needle extracts. J. Chromatogr. 170:371-378. (CFN)

Les auteurs ont perfectionné une méthode de chromatographie gaz-liquide fondée sur la séparation des esters de N-trifluoroacétyle n-butyle des acides aminés par un montage en colonne double, Tabsorb et Tabsorb HAC, en vue d'identifier et de doser les acides aminés dans les aiguilles de pin (*Pinus banksiana* Lamb.). Ils font une étude comparative des différentes méthodes de chromatographie gaz-liquide pouvant servir à la séparation et au dosage des acides aminés extraits des aiguilles de pin.

221. Sarkar, S.K.; Malhotra, S.S. 1979b. Gas liquid chromatographic method for separation of organic acids and its application to pine needle extracts. J. Chromatogr. 171:227-232. (CFN)

Les auteurs décrivent une méthode de chromatographie gaz-liquide pour la séparation d'un mélange de 20 acides organiques utilisant une colonne remplie de gaschrom Q au tamis de 100-120, enduit de XE-60 à 4 %. Elle sépare de façon satisfaisante les acides organiques du cycle TCA ainsi qu'un bon nombre d'acides organiques importants ne lui appartenant pas. Elle a permis de séparer et d'identifier les acides organiques contenus dans les aiguilles de pin. Les solutés d'acide quinique et d'acide shikimique occupent plus de 60 % de l'aire délimitée par les pics de la courbe.

222. Sarkar, S.K.; Malhotra, S.S. 1979c. Effects of SO_2 on organic acid content and malate dehydrogenase activity in jack pine needles. Biochem. Physiol. Pflanzen 174:438-445. (CFN)

Les auteurs ont exposé de jeunes semis de pins gris (*Pinus banksiana* Lamb.) à l'anhydride sulfureux à la teneur de 0,34 ppm pendant 96 h et à la teneur de 0,51 ppm pendant 72 h, et ont observé un roussissement des extrémités des aiguilles et une réduction de leur teneur en acides organiques. L'acide quinique, le constituant principal, devient moins abondant après exposition à chacune des deux concentrations, alors que la teneur en acide shikimique, deuxième en abondance, décline après exposition à une concentration de 0,51 ppm, mais non après exposition à celle de 0,34 ppm. La teneur en acide syringique augmente après exposition aux deux concentrations de SO_2, mais moins à 0,51 ppm de SO_2 qu'à 0,34 ppm. L'activité de la déshydrogénase de l'acide malique diminue bien avant l'apparition de symptômes directement observables d'intoxication par le SO_2. Après 92 h d'exposition au SO_2 à 0,34 ppm, l'activité enzymatique est réduite de près de 50 % par rapport à celle des témoins; à ce point, les symptômes directement observables commencent à apparaître. La méthode d'essai de la déshydrogénase de l'acide malique semble utile pour détecter les lésions attribuables à l'anhydride sulfureux avant que des symptômes directement observables n'apparaissent sur la végétation.

223. Sidhu, S.S. 1977. Fluoride levels in air, vegetation and soil in the vicinity of a phosphorus plant. *In* Proc. 70th Annu. Meet. Air Pollut. Control Assoc., June, Toronto. Pap. No. 77-30.2. (CFTN)

L'auteur décrit les résultats obtenus pendant 20 semaines de surveillance de la concentration de fluorures dans l'atmosphère, la végétation et le sol aux alentours d'une usine produisant du phosphore. Il a utilisé des filtres circulaires en papier imprégné de formiate de Na pour doser les fluorures présents dans l'atmosphère. Les données ainsi recueillies sont très similaires à celles fournies par des échantillonneurs progressifs. L'auteur a établi une équation de régression ($Y = 17,04 + 5,39\ X$) afin de calculer la concentration en g F/dm^2 $sem.^{-1}$ ainsi qu'en g F/m^3. Cette équation indique des quantités supérieures de 20 % à celles fournies par l'équation d'Adam ($Y = 4,36\ X$). La concentration en g F/m^3 dans l'atmosphère varie entre 0,82 et 20,78 à

0,7 km de l'usine et entre 0,06 et 0,34 à 18,7 km de la source. La concentration de F dans la végétation et le sol est en corrélation significative avec sa concentration dans l'atmosphère. Les données actuelles indiquent que la teneur atmosphérique en fluorures sans danger pour les espèces forestières est de 0,23 g F/m^3. La végétation forestière de la région de Long Harbour ne montre aucun symptôme d'endommagement grave après exposition à des concentrations de F dans l'atmosphère dépassant 0,55 g F/m^3 pendant 20 % du temps et 0,20 g F/m^3 pendant 60 % du temps lors d'une même période végétative.

224. Sidhu, S.S. 1978a. Une équation améliorée pour l'estimation des concentrations de fluorures dans l'atmosphère à partir de données fournies par des plaques de fluoruration. Serv. can. for., Revue bimestr. de rech. 35:20-21. (CFTN)

L'auteur propose une équation révisée Y = 5,54 X afin de convertir les données fournies par les plaques de fluoruration en µg F/m^3.

225. Sidhu, S.S. 1978b. Patterns of fluoride accumulation in forest species as related to symptoms and defoliation. *In* Proc. 71st Annu. Meet. Air Pollut. Control Assoc., June, Houston, TX. Art. No. 78-24.7. (CFTN)

L'auteur présente les résultats d'une étude de quatre ans. En voici les conclusions :

a) Les symptômes caractéristiques des lésions causées par le fluorure apparaissent chez un certain nombre d'espèces forestières sous forme d'extrémités roussies ou chlorotiques, de trois à cinq semaines après le débourrage. La progression des symptômes est achevée à la fin de la deuxième période végétative chez les conifères (par exemple : sapin baumier, épinette noire ou blanche) et à la chute des feuilles chez les espèces caducifoliées (par exemple : bouleau à papier, frêne d'Amérique, aulne). La défoliation se produit après une accumulation de 35 ppm de F dans le feuillage.

b) Les plafonds d'accumulation de F (jusqu'à l'apparition des premiers symptômes) diffèrent selon les espèces et les concentrations de F dans l'atmosphère. Les plafonds sont les plus élevés dans les peuplements fortement endommagés et le moins dans les peuplements légèrement touchés.

c) Les plafonds de concentration de F dans l'atmosphère sont de 0,20 µg F/m^3 chez les conifères et 0,40 µg F/m^3 chez les espèces caducifoliées.

d) Cinquante pour cent de l'accumulation de F durant la première année d'exposition sont produits par les cinq ou six premières semaines d'exposition; les conifères avaient accumulé 90 % du total de F à la fin de la deuxième année d'exposition. Chez les feuillus, un nouveau cycle d'accumulation du F est amorcé chaque printemps; l'accumulation de F dans les tissus des feuillus au cours de la première année d'exposition a été de 1,5 à 4 fois celle observée chez les conifères.

e) Chez les arbres à feuilles persistantes, la défoliation commence au niveau d'accumulation de 35 ppm et dépasse 70 % au niveau de 350 à 400 ppm.

f) On pourrait désigner le plafond de concentration de 0,20 µg HF/m^3 (ou 0,19 µg F/m^3) comme norme de la qualité de l'air au Canada pour une exposition continue de 70 jours et plus. À ce plafond, le F ne cause pas de lésion

apparente; il en va de même des niveaux d'accumulation < 35 ppm dans le feuillage au cours d'une période d'exposition de deux ans.

226. Sidhu, S.S. 1978c. Fluoride in berries from fluoride contaminated and control areas. Can. For. Serv. Inf. Rep. N-X-164. 15 p. (CFTN)

L'auteur mentionne les concentrations de fluorures dans les fruits et le feuillage de la ronce petit-mûrier, de l'airelle du Canada, du cornouiller du Canada, de l'amélanchier, de la camarine noire, de l'airelle vigne d'Ida, du framboisier et du gadellier poussant dans les terrains pollués par les fluorures et dans les terrains témoins. Les concentrations de fluorures dans les petits fruits des terrains pollués va de 4,0 ppm pour l'airelle à 106,2 ppm pour le framboisier. Les teneurs en F du feuillage de l'airelle et du framboisier sont de 14,1 et de 990,1 ppm, respectivement. Les teneurs en fluorures des arbustes à petits fruits de la même espèce dépendent de la situation des points d'échantillonnage par rapport à la source des fluorures. Les teneurs en fluorures des petits fruits des terrains témoins vont de 1,9 ppm pour l'airelle à 11,7 ppm pour le cornouillier du Canada. Les teneurs respectives de F dans le feuillage étaient de 8,1 et de 14,8 ppm. L'auteur examine les conséquences de l'ingestion de quantités additionnelles de fluorures par l'homme; elles ne paraissent pas préoccupantes pour le moment.

227. Sidhu, S.S. 1979. Fluoride levels in air, vegetation and soil in the vicinity of a phosphorus plant. J. Air Pollut. Control Assoc. 29:1069-1072. (CFTN)

L'auteur a dosé pendant 20 semaines les concentrations de fluorures dans l'atmosphère, la végétation et le sol d'un écosystème forestier. Dans les peuplements où la concentration de fluorures dans l'air était de 0,17 à 0,23 µg F/m^3, le feuillage de la végétation de type boréal n'a pas subi de lésion importante. Les résultats montrent que le maintien des rejets de F au niveau admis dans les recommandations nationales ne causera guère de dommages visibles à la végétation de la région de Long Harbour.

228. Sidhu, S.S. 1980. Patterns of fluoride accumulation in boreal forest species under perennial exposure to emissions from a phosphorus plant. *In* M.M. Benarie, dir. de publ., Pollution atmosphérique 1980, Compte rendu, 14e Colloq. int., Paris, France. Ét. Écol. 8:425-432. (CFTN)

L'auteur décrit les modes d'accumulation des fluorures dans le feuillage d'espèces forestières boréales exposées en permanence aux rejets fluorés d'une usine produisant du phosphore. Il présente aussi les formules de régression : liant la teneur foliaire en F à la concentration moyenne à long terme de F dans l'atmosphère. Ces formules permettent de calculer les futures teneurs en F causant des accumulations foliaires qu'on considère comme sans danger pour les plantes et les animaux qui les consomment.

L'accumulation de fluorures chez le sapin baumier et d'autres conifères boréaux a atteint son maximum à la fin de la deuxième année d'exposition; la teneur en F dans les aiguilles s'est stabilisée par la suite. Les modes d'accumulation du F ainsi que ses teneurs chez d'autres conifères boréaux étaient semblables à ceux observés chez le sapin baumier. L'auteur a établi une équation de régression : $Y = 1,89\ X - 1,41$ afin d'exprimer la relation entre la teneur en F du feuillage exposé durant un an (X) et la teneur en F du feuillage exposé durant deux ans (Y). Ce doublement de la teneur en F dans les aiguilles en deux ans est un facteur à considérer au moment de l'élaboration des normes de qualité de l'air relatives à la santé des plantes et des animaux qui les

consomment. À un taux de retombées atmosphériques de 37,4 µg F/dm^2 sem.$^{-1}$ (= 0,29 µg F/m^3), on estime que la teneur en F du feuillage sera de 20 ppm, ce qui est considéré comme sans danger pour les plantes et les animaux qui le consomment. Cette concentration dans l'atmosphère se compare assez bien à la norme recommandée au Canada, soit 0,20 µg HF/m^3 en moyenne sur 70 jours et 0,30 µg HF/m^3 en moyenne annuelle, recommandée par l'Union internationale des instituts de recherches forestières.

229. Sidhu, S.S. 1981. Results of air monitoring from 1976 to 1980 in the vicinity of a phosphorus plant, Long Harbour, Newfoundland. Can. For. Serv. Inf. Rep. N-X-203. 55 p. (CFTN)

L'auteur communique les résultats d'une surveillance de cinq années (de 1976 à 1980) de la pollution par les fluorures rejetés par une usine de production de phosphore à Long Harbour (Terre-Neuve). Il a mesuré chaque semaine les retombées de fluorures gazeux de l'atmosphère grâce à un dispositif statique équipé de filtres en papier imprégné de formiate de sodium. Il a ensuite corrélé la concentration de F dans l'atmosphère avec l'accumulation de cet élément sur le feuillage d'espèces forestières boréales et avec les symptômes qu'il y provoque, et il met en relief les principales corrélations.

Depuis 1976, et surtout en 1980, il a observé une diminution de 54 à 87 % de la concentration de F dans l'atmosphère. Pour chaque année, il a établi des équations de régression liant la proximité de la source de rejets à la concentration de F dans l'atmosphère. Il montre que les concentrations seuils de F provoquant l'apparition de symptômes sur le feuillage sont respectivement de 0,20 µg/m^3 et de 0,40 µg/m^3 pour les conifères boréaux et pour les espèces caducifoliées. Le modèle de l'accumulation de F chez les conifères exposés en permanence indique qu'elle est maximale à la fin de la deuxième période végétative. Il indique qu'une exposition de deux années à un air contenant, par m^3, 0,46 µg de F produirait des accumulations foliaires de 20 ppm chez les conifères et de 35 ppm chez les caducifoliés (on estime que la consommation de tels feuillages est sans danger pour les animaux). Ces concentrations ne produisent que peu ou pas de symptômes visibles sur les conifères et les caducifoliés de la région. La norme de 0,29 µg HF/m^3 d'air pour une exposition d'une année est recommandée par l'Union internationale des instituts de recherche forestière. À une concentration atmosphérique moyenne de 0,29 µg F/m^3 et une accumulation moyenne de 20 ppm dans la végétation, la teneur en fluorures de l'urine des animaux se maintiendrait à 10 ppm. Israël (1974) estime que cette teneur en F est sans danger pour le bétail.

230. Sidhu, S.S. 1982a. Fluoride deposition through precipitation and leaf litter in a boreal forest in the vicinity of a phosphorus plant. Sci. Total Environ. 23:205-214. (CFTN)

L'auteur présente les résultats d'une surveillance de courte durée des retombées de fluorures sur l'humus par le canal des précipitations directes et de la litière feuillue dans une forêt boréale à proximité d'une usine de production de phosphore. Il présente également les équations de régression de l'apport de F par les deux véhicules selon l'éloignement de la source des rejets.

L'auteur résume les données sur les concentrations de fluorures dans la litière feuillue provenant de plusieurs espèces forestières et dans les précipitations directes, ainsi que de la concentration en P, Ca, Mg, K et Na dans ces dernières seulement. La concentration moyenne de F dans la litière allait de 930 à 17 ppm dans les forêts de

gravement à légèrement endommagées, respectivement. La concentration correspondante de F dans les précipitations directes respectives atteignait de 0,36 à < 0,01 ppm. L'apport de fluorures par les précipitations directes sur l'humus atteignait plus du quintuple de celui de la litière feuillue. L'apport de F par les précipitations variait entre 3,43 et 0,15 kg/ha.an^{-1} dans les peuplements de gravement à légèrement atteints, respectivement. Les quantités correspondantes pour la litière feuillue étaient de 0,72 à 0,010 kg de F/ha.an^{-1}.

L'auteur place la quantité accessible et la quantité totale de fluorures dans une couche de 4 cm couvrant l'humus dans une plage de 57,0 à 1,20 kg/ha et de 1,20 à 0,24 kg/ha dans les peuplements gravement et légèrement endommagés, respectivement. Les très fortes concentrations de fluorures dans l'humus ne semblent pas avoir contribué à l'accumulation de F dans le feuillage.

231. Sidhu, S.S. 1983. Effects of simulated acid rain on pollen germination and pollen tube growth of white spruce (*Picea glauca*). Can. J. Bot. 61:3095-3099. (CFTN)

L'auteur a étudié les effets, sous trois régimes thermiques, d'une pluie acide simulée (de pH 2,6 à 5,6) sur la germination du pollen et la croissance du tube pollinique chez l'épinette blanche (*Picea glauca* [Moench] Voss.). Les résultats montrent qu'une aspersion acidulée d'un pH supérieur à 3,6 durant la dispersion ou la germination du pollen n'a que peu ou pas d'effets nuisibles sur cette germination et la croissance du tube pollinique. Cependant, une aspersion d'un pH égal ou inférieur à 3,6 provoque une diminution, atteignant 30 %, de la germination du pollen ainsi mouillé et mis à germer sur un substrat gélosé normal. La germination est réduite encore plus et la croissance du tube pollinique est fortement inhibée si le pollen est mis à germer sur un substrat gélosé préparé avec une eau acidulée d'un pH égal ou inférieur à 3,6.

232. Sidhu, S.S. 1985. Results of air and vegetation monitoring from 1981 to 1985 in the vicinity of a phosphorus plant, Long Harbour, Newfoundland. Can. For. Serv. Inf. Rep. N-X-230. 23 p. (CFTN)

L'auteur présente les résultats d'un programme triennal (de 1981 à 1983) de surveillance de la concentration de fluorures dans l'air et la végétation à proximité d'une usine produisant du phosphore à Long Harbour (Terre-Neuve). Il a évalué l'apport atmosphérique saisonnier et annuel de fluorures gazeux en le mesurant hebdomadairement grâce à un dispositif statique utilisant des filtres en papier imprégné de formiate de sodium. L'auteur a corrélé les accumulations de F dans l'air avec celles qui se forment dans le feuillage des sapins baumiers et des aulnes. Il évalue les résultats du point de vue de la réglementation provinciale de la pollution atmosphérique.

Depuis 1980, les retombées hebdomadaires de F sur les plaques de fluoruration ont fortement varié, par exemple de 29,62 à 422,79 µg F/dm^2 an^{-1} en 1983. Il s'est produit une augmentation de la concentration atmosphérique de F de 1980 à 1982. Cependant, l'auteur a observé une diminution de 13 à 70 % de l'accumulation de F en 1983, principalement attribuable aux teneurs atmosphériques en F plus faibles d'août 1983. L'accumulation de F dans le feuillage des sapins baumiers et des aulnes montre une bonne corrélation avec la concentration de F dans l'atmosphère. Au cours des périodes de surveillance de 1981 à 1983, les normes provinciales de concentration maximale de fluorures dans la végétation et dans l'atmosphère n'ont probablement pas été respectées dans la région au nord-est de la source, et de 5,8 à 8,0 km de celle-ci.

233. Sidhu, S.S.; Roberts, B.A. 1976. Évolution de l'endommagement de la végération entre 1973 et 1975 au voisinage d'une usine de phosphore. Rev. bimestr. de rech. 33:8-10. (CFTN)

Les auteurs décrivent la progression, sur trois années, de l'endommagement de la végétation forestière par les fluorures atmosphériques, et la corrèlent avec les niveaux d'accumulation du F dans le feuillage des espèces forestières dominantes. Ils mentionnent aussi les concentrations de fluorures dans l'humus des sols où poussent des peuplements endommagés à divers degrés.

234. Sidhu, S.S.; Singh, P. 1977. Foliar sulfur content and related damage to forest vegetation near a linerboard mill in Newfoundland. Plant Dis. Rep. 61:7-11. (CFTN)

Les auteurs ont fait un relevé des dégâts causés par l'anhydride sulfureux aux alentours d'une usine de carton couché et ont trouvé que la plupart des dommages étaient observables à moins de 0,8 km de la source de pollution. Ils ont corrélé les dommages subis par les sapins baumiers, les épinettes noires, les bouleaux à papier, les érables rouges ainsi que les aulnes rugueux, avec l'augmentation de la teneur en soufre total dans le feuillage (augmentation qui a atteint de 48 à 157 % par rapport aux témoins).

La fréquence d'apparition et l'ampleur des dommages variaient selon les espèces et les emplacements. Afin de mesurer l'impact de l'anhydride sulfureux, les auteurs proposent un indice des dommages subis par les espèces et un indice composite des dommages selon les emplacements. Le premier a servi à déterminer la vulnérabilité relative des espèces au polluant. Les auteurs ont aussi établi une corrélation significative (r = 0,99) entre le deuxième indice et la différence en pourcentage entre la teneur en soufre dans le feuillage endommagé et dans le feuillage non endommagé.

235. Sidhu, S.S.; Staniforth, R.J. 1986. Effects of atmospheric fluorides on foliage, and cone and seed production in balsam fir, black spruce, and larch. Can. J. Bot. 64:923-931. (CFTN)

Les auteurs ont surveillé les accumulations de fluorures et les symptômes d'endommagement du feuillage, des cônes et des graines du sapin baumier (*Abies balsamea* [L.] Mill.), de l'épinette noire (*Picea mariana* [Mill.] B.S.P.), et du mélèze laricin (*Larix laricina* [Du Roi] K. Koch) dans six peuplements situés sous le vent d'une usine de production de phosphore rejetant des fluorures, en 1982. Les retombées atmosphériques de fluor allaient de 347,4 µg F/dm^2 sem.$^{-1}$ (11,38 µg F/m^3) à 1,4 km de la source de fluorures à 2,5 µg F/dm^2 sem.$^{-1}$ (0,08 µg F/m^3) à 18,7 km. Les auteurs ont observé divers degrés d'endommagement foliaire (chlorose, nécrose, dégâts aux aiguilles et défoliation) quand le feuillage contenait plus de 20 ppm de F, soit dans les peuplements où les taux d'accumulation du fluor dépassaient 26,0 µg F/dm^2 sem.$^{-1}$, à moins de 10,3 km sous le vent de la source de rejets. Les auteurs ont observé des réductions de la grosseur des graines et de leur pouvoir germinatif, du nombre de graines par cône, du nombre de cônes par arbre et du nombre d'arbres fertiles, et une diminution de taille, une déformation ou un flétrissement des cônes sous des mêmes niveaux d'accumulation du fluor. La production de graines sur le côté des arbres exposé au vent était notablement plus faible que celle du côté sous le vent. La production de graines chez le sapin baumier, l'épinette noire et le mélèze poussant à l'emplacement le plus pollué était respectivement réduite à 3,6, 2,6 et 0,0 % de celle de l'emplacement témoin. Les auteurs estiment que les organes végétatifs et reproducteurs de ces trois espèces sont vulnérables à l'endommagement par le

fluorure. Ces conifères, endommagés par le fluorure, ne se reproduisaient pas, mouraient et étaient remplacés par des caducifoliés plus résistants, tels le bouleau (*Betula papyrifera* Marsh.) et l'aulne (*Alnus crispa* [Ait.] Pursh) qui sont maintenant les espèces forestières dominantes dans le voisinage de l'usine de production du phosphore.

236. Sidhu, S.S.; Zakrevsky, J.G. 1982. A standardized method for determining buffering capacity of plant foliage. Plant Soil 66:173-179 (CFTN)

Les auteurs ont rationalisé une méthode de mesure de l'effet tampon des extraits de feuillage et l'ont évaluée. Ils ont déterminé les facteurs de variabilité biologique, sur le terrain et au laboratoire. Elle découle des différences interspécifiques, des fluctuations saisonnières, de l'âge du feuillage ainsi que de la durée et des conditions d'entreposage des extraits. Ils proposent des modes opératoires afin d'éliminer ou de réduire les sources de variation (autres qu'intrinsèques) par rationalisation de l'échantillonnage sur le terrain, des méthodes et opérations en laboratoire et du calcul de l'effet tampon. Les plantes, tels les lichens dont on connaît la vulnérabilité aux polluants atmosphériques, ont un très faible effet tampon, inférieur à celui des espèces qui ont une sensibilité intermédiaire comme le sapin baumier. Comme il s'agit d'un trait hérité qui diffère notablement d'une espèce à l'autre, l'effet tampon pourrait servir à classer les espèces en fonction de leur sensibilité relative aux polluants atmosphériques, notamment dans les régions où il faut comparer un grand nombre d'espèces.

237. Singh,T.; Kalra, Y.P. 1977. Estimation of natural pollution loads from streamflow measurements in remote catchments. Water Air Soil Pollut. 7:111-116. (CFN)

Au cours d'une étude faite dans le bassin d'alimentation du ruisseau Marmot (superficie totale de 9,40 km^2) situé dans les Rocheuses en Alberta, les auteurs ont établi des équations pour l'évaluation approximative de la quantité totale de solutés minéraux exportés de trois aires d'alimentation forestières, sur une base mensuelle et annuelle. La plage r^2 des valeurs admissibles des équations dépassant 99 %, leur représentativité est excellente. Elles conviennent à une évaluation directe sur le terrain des charges polluantes, à partir de mesures du débit d'eau, notamment dans le cas des aires d'alimentation d'accès malaisé.

238. Singh, T.; Kalra, Y.P. 1984. Predicting solute yields in the natural waters of a subalpine system in Alberta, Canada. Arct. Alp. Res. 16:217-224. (CFN)

En 1971 et 1972, ces chercheurs ont procédé à un échantillonnage intensif des eaux naturelles provenant d'un bassin d'alimentation subalpin. Ils ont utilisé les résultats dans une formule de régression afin d'évaluer l'exportation quotidienne des principaux composants (Ca^{2+}, Mg^{2+}, HCO_3^-) et d'autres composants (Na^+, SO_4^{2-}, SiO_2). Malgré la faible superficie en cause (9,40 km^2), la perte en composants géochimiques était importante; au total, elle variait de 12,4 à 409,2 $t/km^2.an^{-1}$. Les auteurs ont vérifié séparément les équations dérivées, et ont établi leur valeur prévisionnelle pour les années 1973 et 1974. Les formules statistiques d'évaluation des charges en solutés ont fourni des données d'ordre géochimique sur le régime hydrologique du bassin subalpin en différentes saisons. Ils ont constaté que le taux d'augmentation de l'exportation de solutés par augmentation unitaire du débit était maximal dans le cas du HCO_3^- et du Ca^{2+}, modéré dans le cas du SO_4^{2-} et du Mg^{2+} et minimal dans le cas du SiO_2, du Na^+ et du K^+. Les exportations maximales de

solutés ont été observées durant les mois où le débit était le plus élevé (mai, juin, juillet).

239. Skorepa, A.C.; Vitt, D.H. 1976. A quantitative study of epiphytic lichen vegetation in relation to SO_2 pollution in western Alberta. Can. For. Serv. Inf. Rep. NOR-X-161. (CFN)

Les auteurs ont mené une étude des lichens fixés sur le pin de Murray (*Pinus contorta* var. *latifolia*) aux alentours de deux nouvelles sources de rejets d'anhydride sulfureux dans la région de Rocky Mountain House du centre ouest de l'Alberta, Canada. Ils ont élaboré un indice d'abondance-densité relative permettant de détecter des changements dans le groupement des lichens épiphytes, là où aucune dénudation lichénique ne s'est encore produite. L'indice d'abondance-densité s'est révélé plus précis que l'indice de pureté atmosphérique pour détecter les modifications récentes de la flore. Les techniques de classification et d'analyse des groupes ont permis de distinguer quatre groupements de lichens épiphytes, dont trois avaient été exposés à l'action de l'anhydride sulfureux. Après trois ans d'exposition à ce polluant, la flore de lichens adjacente était gravement affectée. *Alectoria glabra*, *Cetraria halei* et *Usnea alpina*, tous composants courants de la végétation encore intacte, comptent parmi les espèces les plus vulnérables.

240. Staniforth, R.J.; Sidhu, S.S. 1984. Effects of atmospheric fluorides on foliage, flower, fruit, and seed production in wild raspberry and blueberry. Can. J. Bot. 62:2827-2834. (CFN)

Les auteurs ont étudié les modifications des appareils reproducteur et végétatif de l'airelle du Canada (bleuet) dans six terrains situés sous le vent d'une usine de production de phosphore rejetant des fluorures gazeux et particulaires. Les retombées atmosphériques de fluorures variaient d'une moyenne de 347,4 µg $F/dm^2.sem.^{-1}$ (ou 11,8 µg F/m^3) à 1,4 km de la source, jusqu'à 2,5 µg $F/dm^2.sem.^{-1}$ (ou 0,08 µg F/m^3) à 18,7 km de la source. Les pollutions les plus fortes apparaissent en juillet, alors même que les deux espèces sont en pleine floraison. Dans le terrain le plus pollué, le flétrissement des fleurs d'airelle atteint 89 % et celui des fleurs de framboisier 78 %. Ce flétrissement explique en grande partie la perte de potentiel biotique. Les pertes correspondantes dans ce terrain témoin (18,7 km de la source) sont de 27 et 26 %, respectivement. La production de graines par pied d'airelle affecté n'était plus que le $1/21^e$ de la production normale, et celle du pied de framboisier de $1/10^e$. Les auteurs ont aussi observé une diminution notable de la taille, du nombre et du poids à sec des fruits. L'endommagement des airelles n'a pas eu de conséquences pour les plantules, sauf une légère accélération du taux de germination. L'accumulation de F dans le feuillage des framboisiers poussant à 1,4 km de la source a atteint 403 ppm, et seulement 216 ppm chez les airelles poussant dans le même terrain, alors qu'elle n'était respectivement que de 8 et 9 ppm chez les plantes témoins. Les pieds de framboisier affectés par le fluorure s'étalent plus largement que les autres, leurs feuilles sont endommagées et elles tombent plus tard à l'automne.

241. Tardif, M.L. 1985. Les effets de l'eau acidifiée sur la colonisation racinaire des semis d'*Abies balsamea* (L.) Mill., in situ par les ectomycorhizes. Recherche sous contrat pour le SCF. (CFL)

L'auteur a aspergé 11 fois, avec de l'eau acidulée, des semis de sapins baumiers (*Abies balsamea* [L.] Mill.) poussant dans un boisé afin de mesurer l'effet de ces

aspersions sur la croissance des plantes et sur le développement de leur ectomycorhizes.

Sur le terrain, les plantules ont reçu une aspersion hebdomadaire d'eau acidifiée aux pH 2,5, 3,0, 3,5 et 4,0. Les témoins recevaient seulement de l'eau de pluie au pH 4,8.

Les aspersions d'eau acidulée ont causé une réduction importante du nombre de mycorhizes et de racines principales par plantule et ont altéré la partie aérienne de la plantule, en proportion du degré d'acidité.

Ces résultats indiquent que les mycorhizes sont très vulnérables aux modifications de la composition du sol et à l'affaiblissement de la partie aérienne de la plantule.

Cependant, on ne peut en déduire les effets directs et indirects de l'endommagement des parties aériennes des plantes sur les ectomycorhizes.

242. Thacker, D.J.; Rutherford, G.K.; vanLoon, G.W. 1987. The effects of simulated acid precipitation in the surface horizons of two eastern Canadian forest podzol soils. Can. J. For. Res. 17:1138-1143. (CFGL)

Les auteurs ont aspergé, en laboratoire, des carottes de 18 cm de diamètre des horizons non perturbés L, F, H, Ae et Bhf supérieur de podzols ferro-humiques du bassin-versant des lacs Turkey (Ontario) et de la Forêt de Montmorency (Québec), avec de l'eau acidulée aux pH 5,7, 3,5 et 2,0 simulant une précipitation de 10 m au cours d'une année environ. Ils ont recueilli les éluats au bas de la couche d'humus et au bas de la carotte et analysé les sols résiduels à la fin de l'expérience. Les sols de deux points d'échantillonnage se sont comportés de la même façon. Les concentrations en anions dans les éluats ont atteint les niveaux des apports après la chute d'environ 2 m de pluie simulée. En général, le lessivage a extrait une forte proportion initiale des cations, qui a diminué par la suite. L'aspersion d'eau au pH 2,0 a causé des modifications importantes de certaines propriétés du sol; l'effet des aspersions aux pH 3,5 et 5,7 a été plus modeste. La saturation en cations métalliques a fortement diminué à la suite de l'aspersion au pH 2,0, faiblement à la suite de l'aspersion au pH 3,5, et elle a augmenté à la suite de l'aspersion à l'eau distillée. La capacité d'échange cationique n'a été réduite que dans les horizons organiques aspergés à l'eau au pH 2,0. Le carbone organique, l'azote total et les proportions C/N n'ont pas été modifiés par l'acidification. Le lessivage de Fe et d'Al n'a été notable qu'après l'aspersion au pH 2,0, et la mobilisation d'Al a été très supérieure à celle de Fe. La quantité de phosphore extraite au bicarbonate du sol minéral a été deux fois plus grande après aspersion au pH 2,0 qu'après les autres aspersions. L'étude des argiles par diffraction des rayons X a montré une perte des intercouches d'hydroxyaluminium en fonction de l'acidification, ce qui constitue une étape de la transformation acide des matériaux micacés et matériaux du type smectique dans les sols podzoliques.

243. Thompson, L.K.; Sidhu, S.S.; Roberts, B.A. 1979. Fluoride accumulations in soil and vegetation in the vicinity of a phosphorus plant. Environ. Pollut. (Ser. B) 18:221-234. (CFTN)

Les auteurs présentent les résultats de trois relevés annuels consécutifs de la superficie totale endommagée par les fluorures, de la gravité des dommages, de l'ensemble des symptômes ainsi que de l'accumulation du fluorure dans les plantes et

les sols; ainsi ont-ils pu tracer une carte montrant les isogrammes de pollution par le fluorure des plantes et du sol.

244. Ung, C-H.; Bertrand, F. 1987. Analyse qualitative des équations différentielles d'un modèle de croissance pour l'érablière à sucre. Can. J. For. Res. 17: 588-593. (CFL)

Les auteurs décrivent un modèle d'accroissement forestier basé sur la fonction de Weibull. Ils font une estimation des paramètres du modèle à l'aide des données relevées dans 89 placettes permanentes du ministère de l'Énergie et des Ressources du Québec. L'érable à sucre occupe plus de 75 % de la superficie de chacune de ces placettes. Les auteurs étudient de façon exhaustive le comportement mathématique du modèle par analyse quantitative.

245. vanLoon, G.W.; Hay, G.W.; Goh, R.H.T. 1987. Analysis of sulfur-containing components of a soil treated with simulated acid rain. Water Air Soil Pollut. 34:233-240. (CFGL)

Les auteurs ont dosé les composés sulfurés contenus dans les échantillons des horizons L-F-H et Bfh d'un podzol humo-ferrique orthique après aspersion d'eau acidulée aux pH 5,7, 3,5 et 2,0 simulant la pluie pendant 720 jours. C'est sous forme organique que le S dominait. Le rapport pondéral du sulfate d'ester au S lié au carbone atteignait environ 1 pour 1 dans les échantillons des horizons L-F-H aspergés à l'eau acidulée aux pH 5,7 et 3,5; quant à l'échantillon aspergé avec l'eau acidifiée au pH 2,0, ce rapport était d'environ 2 pour 1 et les concentrations en sulfate minéral et en sulfate d'ester étaient nettement plus élevées. Dans les échantillons de l'horizon Bfh, le S lié au carbone constituait la principale forme de S organique, exception faite de l'échantillon aspergée à l'eau la plus acide (pH 2,0). Les auteurs ont séparé les composés organiques du S en fractions solubles au chloroforme, solubles à l'acide trifluoracétique en solution aqueuse, et résiduelle. Après aspersion au pH 2,0, les auteurs ont observé une augmentation notable de la teneur en sulfate minéral dans l'eau ou adsorbé.

246. Vigneault, Y.; Robitaille, G. 1982. Effets des pluies acides sur les écosystèmes terrestres et aquatiques. *In* Compte rendu du Congrès Ass. biol. Qué., 1982. 15 p. (CFL)

Les auteurs font un exposé général des effets des précipitations acides sur les écosystèmes terrestres et aquatiques. Ils présentent aussi des cartes de vulnérabilité des milieux aquatiques et terrestres du paysage québécois. Ils décrivent l'acidification des sols portant les écosystèmes de sapinière boréale, et ils présentent le Programme du lac Laflamme, mis sur pied par le SCF.

247. Visser, S. 1984. Microbial activity and biomass in the forest floor of a lodgepole pine stand polluted with sulfur dust. Univ. Calgary rep. to Can. For. Serv., Edmonton Alta. (CFN)

L'auteur décrit les effets de la pollution par la poussière de soufre sur le pH, la respiration microbienne, le C de la biomasse microbienne, le mode de minéralisation du glucose et certaines caractéristiques chimiques de la couverture morte et des horizons minéraux d'un peuplement de pins de Murray, aux alentours de Rocky Mountain House (Alberta). L'oxydation de la poussière de S qui s'était accumulée pendant quatre ans dans la couverture morte a considérablement réduit le pH, la quantité de C de la biomasse microbienne et la teneur en Ca, Mg, K, Mn et P totaux,

en particulier dans un rayon de 150 m autour des terrils sulfureux. La minéralisation du glucose a été modifiée par cette acidification alors que la respiration du sol n'a guère changé. Le C de la biomasse microbienne était mieux corrélé au pH qu'à la concentration de S dans le sol. Malgré une tendance à la baisse du pH dans la couche supérieure de 0 à 10 cm des horizons minéraux à mesure que croissait la concentration de S, l'auteur n'a pu détecter d'effet notable de celle-ci sur la respiration du sol et le C de la biomasse microbienne.

248. Walker, S.L.; Auclair, A.N.D. 1988. The distribution of forest declines in Western Canada and adjacent areas of the United States. Federal LRTAP Liaison Office, Atmos.. Environ. Serv., February. (SCF-AC)

Les auteurs font un tour d'horizon très préliminaire du dépérissement des forêts dans l'Ouest canadien et dans les régions contiguës des États-Unis. Ce dépérissement est mal connu ou rarement considéré comme s'insérant dans le cadre plus général du déclin des régions et espèces forestières. Afin d'établir une base commune de comparaison et d'analyse des symptômes du dépérissement, de ses causes et de son extension, les auteurs ont adopté la définition de ses paramètres, telle qu'énoncée par Paul Manion (1981) et David Houston (1981).

Les auteurs illustrent la chronologie de l'apparition et la répartition géographique du phénomène de dépérissement des forêts dans l'Ouest canadien. Ils cherchent à déterminer ses causes en fonction de certains symptômes et paramètres de son extension et s'efforcent de déterminer si ce dépérissement correspond à la définition classique de Manion-Houston et d'en établir les caractères communs ou les différences selon les espèces, par une comparaison de ces paramètres.

249. Whitney, R.D.; Ip, D.W. 1988. Effects of simulated acid rain on field grown *Abies balsamea* (L.) Mill. in Ontario. I. A system for applying simulated acid rain to field grown saplings. Eur. J. Pathol. (sous presse). (CFGL)

Les auteurs ont aspergé 60 gaulis de sapins baumiers (*Abies balsamea* [L.] Mill.) de 1 à 2 m poussant sous le couvert de la forêt mélangée et abrités de façon à exclure la pluie naturelle, avec de l'eau acidulée simulant celle-ci. Les abris en plastique, de forme pyramidale et ventilés, étaient conçus pour ne pas entraver la croissance des gaulis pendant deux autres années, et pour maintenir, dans des limites acceptables, les variations d'humidité relative, de température et d'intensité lumineuse à l'intérieur, par rapport au milieu ambiant. Les auteurs ont préparé, sur place, toutes les deux semaines, environ 5 500 L d'eau acidulée à trois pH différents, et en ont aspergé les gaulis sous forme de pluie artificielle grâce à un dispositif portable de mélange et d'aspersion. Celui-ci s'est révélé très efficace, en dépit de la diversité du relief et de la densité de la forêt. Les auteurs décrivent en détail le travail accompli et les difficultés causées par les recherches sur le terrain.

250. Wickware, G.M.; Cowell, D.W. 1985. Forest ecosystem classification on the Turkey Lakes Watershed (Ontario). Class. écol. terres. série 18, Environ. Can. (CFGL)

Les auteurs ont observé les paramètres biophysiques et les interactions écologiques dans le bassin-versant des lacs Turkey, en Ontario, en fonction de la végétation en place, et des caractéristiques des sols et des terrains. Les données ainsi recueillies serviront de base de référence pour les nouvelles recherches et à améliorer notre connaissance des interactions complexes entre les précipitations acides et les différents composants de l'écosystème forestier. Les résultats, obtenus

grâce à un échantillonnage intensif sur le terrain et à des analyses aidées par ordinateur utilisant les programmes écologiques de l'Université Cornell, TWINSPAN et DECORANA, mettent en évidence leurs toutes nouvelles applications ainsi que leur utilité pour la détermination et le classement des types édaphiques et des terrains de caractéristiques écologiques similaires. Les auteurs ont recueilli et analysé des données détaillées sur la végétation, les sols et les paramètres des terrains. Ils ont ainsi mis en évidence 17 groupements distinctifs de différentes espèces végétales et neuf types distinctifs de sols. D'autres analyses ont indiqué qu'il existe une corrélation entre le port des végétaux et la nature du sol, sa pente, son orientation et son altitude, mais bien peu entre type de sol, pente et altitude. Il n'existe pas de relation de cause à effet entre type de sol et port végétal, bien que certaines tendances soient évidentes. Enfin, les auteurs ont dessiné une carte du bassin-versant des lacs Turkey à l'échelle du 1/12 000e en vue de mettre en évidence les similarités de la végétation, du sol et du terrain.

251. Winget, C.H.; Addison, P.A.; Rennie, P.J. 1988. Forest effects of long-range transport of air pollution in Canada. *In* Proc. USSR-Canada Workshop on Airborne Pollutants, April, Tbilisi, Georgia, USSR. (SCF-AC)

Les forêts recouvrent 4,3 des 9,9 millions d'hectares de superficie du Canada; elles jouent un rôle important de différents points de vue : stabilisation des sols, habitat de la faune, activités ludiques et prévention des inondations. Environ 161 millions d'ha sont couverts de forêts en exploitation; la récolte annuelle sur 760 000 ha donne des produits ligneux d'une valeur de 31 G$. C'est la principale industrie du Canada. Un climat défavorable et des sols peu propices limitent la productivité des forêts de conifères, en général semi-naturelles. Les incendies et les organismes nuisibles causent les pertes les plus importantes. De grandes régions forestières, soit 7 millions d'ha sur la côte Ouest et 39 millions d'ha dans l'Est canadien, sont exposées à une sérieuse pollution atmosphérique régionale; on connaît assez bien les retombées de nitrates et de sulfates, mais plutôt mal la pollution par les oxydants photochimiques, les substances organiques volatiles et les poussières métalliques.

Le public et les chercheurs sont préoccupés par l'impact de la pollution atmosphérique régionale sur les forêts. Le dépérissement des forêts de bouleaux et d'érables au Canada et le ralentissement de la croissance des arbres dans certaines régions ont souligné la nécessité d'étudier les effets de la pollution sur les écosystèmes forestiers. Le Programme du Service canadien des forêts vise à mesurer les effets de la pollution régionale sur les forêts, aidant ainsi les pouvoirs publics à mettre sur pied des moyens de lutte contre la pollution atmosphérique.

Voici les principaux objectifs du Programme du SCF. Il lui faut :

a) déterminer si la pollution atmosphérique contribue au dépérissement actuel des forêts d'érables et de bouleaux et mettre au point des méthodes de prévention ou d'arrêt du dépérissement des peuplements d'érables à sucre;

b) déterminer quelles sont les concentrations maximales admissibles de polluants atmosphériques respectant la productivité permanente et la santé des massifs forestiers (ces données sont indispensables pour l'élaboration des stratégies de lutte anti-pollution);

c) surveiller et évaluer constamment l'état d'écosystèmes forestiers représentatifs d'un bout à l'autre du Canada, afin de détecter tout changement des polluants

atmosphériques ou des stress naturels. (Cette surveillance constitue un moyen d'alerte précoce et permet de vérifier l'efficacité des mesures déjà prises).

Les auteurs décrivent les caractéristiques de la forêt canadienne et celles du dépérissement et du ralentissement de croissance observés, ainsi que les programmes de recherche et de surveillance fonctionnant actuellement.

252. Zalshek, E.M.; Puckett, K.J.; Percy, K.E. 1986. Lichen sulphur levels and sulphur deposition patterns in eastern Canada. Water Air Soil Pollut. 30:161-169. (SCF-M)

On observe des différences marquées entre les concentrations de soufre et de plomb dans les spécimens de *Cladino rangiferina* échantillonnés dans l'Est canadien et dans ceux recueillis dans les Territoires du Nord-Ouest. Ces écarts mettent en relief les taux différents de rejets et de retombées de ces deux éléments dans les deux régions considérées. Les auteurs décrivent en détail la répartition géographique du S et du Pb observés dans les lichens de l'Est canadien. La concentration moyenne de S varie entre 329 et 959 $\mu g.g^{-1}$; celle de Pb varie entre 3 et 21 $\mu g.g^{-1}$. On observe un gradient régional de concentrations de S dans les lichens, la concentration la plus élevée étant trouvée dans les régions centrale et centre nord de l'Ontario, alors que la concentration la plus faible est observée à Terre-Neuve. Un gradient régional de concentrations de Pb est aussi apparent, mais il n'est pas aussi bien délimité. La répartition régionale du S tel que dosé dans les lichens concorde avec d'autres mesures indirectes de ses retombées. La concentration en S dans les lichens est en corrélation positive avec l'accumulation des retombées humides de sulfates.

Résumé additionnel

253. Roberge, M.R. 1987. Évolution du pH de divers sols forestiers au cours des derniers 20 ans : effets de l'âge des peuplements et de la pluie acide. Centre de foresterie des Laurentides, Québec. Rapp. d'inf. LAU-X-77. (CFL)

L'auteur a mesuré tous les cinq ans le pH de neuf sols forestiers choisis dans les trois principales zones forestières du Québec, celles de l'érable à sucre, du sapin baumier et de l'épinette noire. Certaines mesures ont été faites dès 1961. Les peuplements poussant sur ces sols avaient presque tous 50 ans à cette époque et se développaient bien. Malgré les pluies acides des vingt dernières années, le pH des neuf sols a tendance à croître. Peut-être ce phénomène aurait-il été plus important s'il n'y avait pas eu de pluies acides; mais, faute de station expérimentale à l'abri des pluies acides, il ne s'agit là que d'une simple conjecture.